



Apport de l'EOS pour la planification préopératoire des scolioses idiopathiques de l'adolescent

Caroline Hirsch

► To cite this version:

Caroline Hirsch. Apport de l'EOS pour la planification préopératoire des scolioses idiopathiques de l'adolescent. Médecine humaine et pathologie. 2013. dumas-01157846

HAL Id: dumas-01157846

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01157846>

Submitted on 28 May 2015

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives| 4.0 International License

AVERTISSEMENT

Cette thèse d'exercice est le fruit d'un travail approuvé par le jury de soutenance et réalisé dans le but d'obtenir le diplôme d'Etat de docteur en médecine. Ce document est mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt toute poursuite pénale.

UNIVERSITÉ PARIS DESCARTES
Faculté de Médecine PARIS DESCARTES

Année 2013

N°198

THÈSE
POUR LE DIPLÔME D'ÉTAT
DE
DOCTEUR EN MÉDECINE

Apport de l'EOS® pour la planification préopératoire
des scolioses idiopathiques de l'adolescent

Présentée et soutenue publiquement
le 22 octobre 2013

Par

HIRSCH, Caroline
Née le 10 juin 1983 à Paris (75)

Dirigée par M. Le Docteur Ilharreborde, Brice

Jury :

M. Le Professeur Mazda, Keyvan Président
M. Le Professeur Guigui, Pierre Membre
M. Le Docteur Khiami, Frédéric Membre
M. Le Docteur Meyer, Alain Membre



Except where otherwise noted, this work is licensed under
<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/>

Table des matières

I. RESUME.....	7
II. INTRODUCTION	9
A. INTERET DE LA PLANIFICATION PREOPERATOIRE	9
B. RAPPEL DES TECHNIQUES D'EVALUATION DE LA FLEXIBILITE PREOPERATOIRE	11
C. NOUVELLES METHODES D'EVALUATION EN 3 DIMENSIONS.....	21
III. MATERIELS ET METHODES	26
A. PATIENTS.....	26
B. METHODE	26
1. Bilan d'imagerie réalisé.....	26
2. Méthode de réalisation des différents clichés	27
3. Données analysées	35
4. Analyse statistique.....	41
IV. RESULTATS	45
A. PATIENTS.....	45
B. ANALYSE COMPARATIVE INCLINAISON LATERALE COUCHEE VERSUS EOS.....	47
1. Faisabilité des inclinaison latérale debout dans l'EOS.....	47
2. Analyse de la réduction de l'angle de Cobb pour chaque courbure.....	47
3. Choix du 1 ^{er} disque mobile.....	52
4. Dose d'irradiation reçue.....	53
C. ANALYSE COMPARATIVE EOS SUSPENSION VERSUS TRACTION	53
1. Analyse globale comparative des deux groupes	53
2. Analyse en sous-groupes.....	55
3. Force appliquée au cours de la suspension et de la traction et tolérance des tests	59
4. Irradiation reçue lors des différents tests.....	61
D. ANALYSE GLOBALE DE LA REDUCTIBILITE DU COBB.....	61
E. ANALYSE DES DONNEES 3D LORS DE LA SUSPENSION EOS	63
1. Analyse des données dans le plan axial.....	63
2. Analyse des données de la suspension dans le plan sagittal.....	65
V. DISCUSSION	67
VI. CONCLUSION.....	76
VII. REFERENCES	77

REMERCIEMENTS

A mes maîtres d'internat,

Le Dr Brice Ilharreborde,

Merci de m'avoir accompagné dans le travail. Tu es un véritable exemple pour moi : rigoureux, perfectionniste, disponible, brillant. Je m'estime chanceuse de pouvoir travailler avec toi.

Le Professeur Keyvan Mazda,

Je vous remercie de m'avoir fait découvrir la pédiatrie et les scolioses. Vous me pousser toujours plus loin dans le travail mais vous savez aussi être d'un grand soutien comme lorsqu'on tremble avant de s'exprimer à un congrès international. Merci pour tout.

Le Professeur Pierre Guigui,

Je vous remercie de m'avoir lancé sur la voie de la chirurgie du Rachis. Vous m'avez enseigné la rigueur. Je vous remercie pour tous les conseils que vous avez pris le temps de me donner. J'espère être à la hauteur dans quelques semaines dans votre équipe.

Le Professeur Hugues Pascal Mousselard,

Je vous remercie pour votre enseignement, votre constante disponibilité et la confiance que vous me portez.

Le Docteur Frédéric Khiami,

Je te remercie pour tout le travail que nous avons fait ensemble et pour ton amitié. Tu es rigoureux, d'une motivation à toute épreuve (même quand tout était contre nous) et tu es toujours présent quand on en a besoin.

Le Dr Alain Meyer,

Merci pour tout ce que tu a pris le temps de m'apprendre et ta patience qu'il soit à 3h du matin à la Pitié ou pire, que tu décides de m'aider sur un croisé...

Le Pr Philippe Anract

Le Pr Georges Penneçot

Le Pr Charles Court

A tous mes Chefs de Clinique et PH,

Philippe Souchet, Ana Presedo, Estelle Litzelman, Cindy Mallet, Olivier Grimaud, Yves-Pierre Le Moulec, Julien Deranlot, Anthony Wasjficz, Marc Soubeyrand, Mourad Ouldsliman, Thibault Lenoir, Cyril Dauzac, Gilles Cohen, Gildas Ducharne, Redoine Zahi, Julien Even, Lamine Abane.

Je vous remercie tous de m'avoir guidée et appris au cours de ces années d'internat sans jamais perdre patience.

A tous mes collègues internes,

Florence Aim, Baptiste Magrino, Henri d'Astorg, Benoit Combourieu, Camille Stelzen, Quentin Tribot Laspierre, Guillaume Villatte, Julie Guidon, Bachir Ghostine, Romain Rousseau, Jérôme Delambre, Anne-Laure Simon, Emmanuelle Ferrero.

A mes amies inconditionnellement fidèles,

Juliette Lion-Altmayer, Alexandra Masson-Leconte, Nathalie Dournon

A mes frères, Yann et Jean-François

Merci de toujours croire en moi, de me guider et de me protéger.

A mon oncle,

Merci d'avoir pris le relais depuis maintenant 14 ans...

A mes parents,

Tak min kærlig Mor, tak for alt det du har gjort for mig i alle di år.

A mon père...

A Martin évidemment.

Sans toi rien ne serait possible, merci pour tout ce que tu fais pour moi tous les jours.

I. RESUME

Introduction

L'étude de la flexibilité préopératoire des scolioses idiopathiques de l'adolescent (SIA) est essentielle pour classer les courbures, déterminer leur structuralité et choisir les niveaux de fusion au cours de la planification préopératoire. Les clichés en inclinaison et en traction représentent les examens de référence, mais la stéréoradiographie basse dose offre de nouvelles perspectives. Le but de ce travail était d'étudier la faisabilité de deux nouveaux tests d'évaluation de la flexibilité préopératoire dans l'Eos et de les comparer aux examens de référence.

Matériels et méthodes

Tous les patients ayant bénéficié d'une évaluation préopératoire entre Avril 2012 et Janvier 2013 dans le cadre d'une SIA ont été inclus de façon prospective. Le bilan comprenait une radiographie Eos debout face/profil, un cliché en traction sans anesthésie sur cadre de Cotrel, des clichés en inclinaison latérale en position couchée, un cliché en suspension dans l'Eos et des clichés en inclinaison latérale debout dans la cabine Eos. La dose d'irradiation était mesurée pour chacun des tests. Une échelle visuelle analogique a été utilisée pour évaluer la tolérance respective de la traction et de la suspension, la force de traction a été enregistrée à chaque fois. La réductibilité 2D de l'angle de Cobb était mesurée en traction, en suspension et sur les deux types de d'inclinaison latérale. Les paramètres sagittaux et axiaux, réductibilité de la rotation de la vertèbre apicale (RVA) de chaque courbure étaient mesurés grâce aux reconstructions 3D Eos.

Résultats

Les résultats portent sur 50 patients inclus dans l'étude. La dose d'irradiation était 8 fois moins importante lors de la suspension que lors de la traction et 5 fois moins importante lors des inclinaisons latérales EOS. La force de traction appliquée était de 80% du poids du corps en suspension et de 23% en traction. L'EVA moyenne en suspension était de 5.6 (+/- 2.1) contre 3.1 (+/- 1.9) en traction.

Aucune différence significative n'a pu être mise en évidence pour la réductibilité de l'angle de Cobb entre les clichés en inclinaison latérale debout dans l'EOS et ceux en position couchée. Concernant le test en suspension dans l'EOS, la réductibilité dans le plan frontal des courbures thoraciques supérieures et inférieures était identiques quelque soit le type de déformation selon la classification de Lenke à celle obtenue lors de la traction. La courbure lombaire se réduisait mieux sur la traction pour les courbures Lenke 5 et 6. La traction était toujours supérieure pour la réduction de l'angle ilio-lombaire.

L'analyse du plan axial en suspension a permis de révéler l'absence de corrélation entre la réductibilité de la RVA et celle de l'angle Cobb. La suspension permettait d'analyser la réductibilité dans le plan sagittal et la détermination d'un indice de flexibilité sagittal de la cyphose globale et de la cyphose proximale T1-T4.

Conclusion

Les clichés en inclinaison latérale debout dans la cabine EOS apportent les mêmes résultats que les clichés réalisés en position couchée en étant 5 fois moins irradiant. Ils devraient donc être utilisés en routine clinique.

La suspension 3D est un test faisable et reproductible. Elle offre de nouvelles informations sur la réductibilité de la déformation dans le plan axial et sagittal qui pourront faire partie d'une nouvelle classification 3D des SIA.

II. INTRODUCTION

A. Intérêt de la planification préopératoire

Le traitement chirurgical des scolioses idiopathiques de l'adolescent (SIA) a pour but d'obtenir une zone de fusion solide, centrée au dessus du pelvis, équilibrée dans le plan frontal et sagittal, de restaurer la hauteur du tronc tout préservant le maximum de mobilité dans les segments adjacents [1]. Si la technique opératoire et le matériel utilisé sont deux éléments essentiels à l'obtention d'un bon résultat chirurgical, c'est le choix approprié des niveaux de fusion qui sera le garant d'un résultat stable dans le temps. En effet, la plupart des complications apparaissent au niveau des segments adjacents qui n'ont pas été inclus dans la zone de fusion : en proximal ce sont les cyphoses jonctionnelles proximales (ou proximal junctional kyphosis, PJK) et en distal ce sont les « adding on », définis comme par l'existence d'un décalage de plus de 10 mm entre la ligne verticale passant par le milieu du sacrum et la dernière vertèbre instrumentée [2]. Dans leur revue de la littérature, Kim et Lenke estiment entre 17 et 39% l'incidence des cyphoses jonctionnelles proximales et retrouvent comme facteurs prédictifs la diminution de la cyphose thoracique postopératoire et le choix du niveau proximal de fusion (T1-T3) [3] [4]. En distal, c'est le choix du niveau distal de fusion qui apparaît être « le » facteur de risque des adding on [5] [6]. Il n'existe malheureusement pas à ce jour d'arbre décisionnel consensuel permettant de choisir les niveaux de fusion. Néanmoins,

certain points d'analyse sont indispensables comme la distinction entre courbure structurelle et non structurelle. Plusieurs classifications existent à ce jour, mais la classification de Lenke est la plus utilisée [7]. Celle-ci s'appuie sur la flexibilité des courbures évaluées grâce aux clichés en inclinaison latérale pour déterminer la structuralité des courbures (figure 1).

CURVE TYPE				
Type	Proximal Thoracic	Main Thoracic	Thoracolumbar/Lumbar	Description
1	Non-Structural	Structural (Major)*	Non-Structural	Main Thoracic (MT)
2	Structural	Structural (Major)*	Non-Structural	Double Thoracic (DT)
3	Non-Structural	Structural (Major)*	Structural	Double Major (DM)
4	Structural	Structural (Major)*	Structural (Major)*	Triple Major (TM) ⁵
5	Non-Structural	Non-Structural	Structural (Major)*	Thoracolumbar/Lumbar (TL/L)
6	Non-Structural	Structural	Structural (Major)*	Thoracolumbar/Lumbar-Main Thoracic (TL/L-MT)

STRUCTURAL CRITERIA (Minor Curves) Proximal Thoracic - Side Bending Cobb $\geq 25^\circ$ - T2-T5 Kyphosis $\geq +20^\circ$ Main Thoracic - Side Bending Cobb $\geq 25^\circ$ - T10-L2 Kyphosis $\geq +20^\circ$ Thoracolumbar/Lumbar - Side Bending Cobb $\geq 25^\circ$ - T10-L2 Kyphosis $\geq +20^\circ$		*Major = Largest Cobb measurement, always structural Minor = All other curves with structural criteria applied ⁵ Type 4 - MT or TL/L can be major curve
--	--	--

LOCATION OF APEX (SRS Definition) <table> <tr> <th>CURVE</th><th>APEX</th></tr> <tr> <td>Thoracic</td><td>T2-T11/12 Disc</td></tr> <tr> <td>Thoracolumbar</td><td>T12-L1</td></tr> <tr> <td>Thoracolumbar/Lumbar</td><td>L1/2 Disc-L4</td></tr> </table>		CURVE	APEX	Thoracic	T2-T11/12 Disc	Thoracolumbar	T12-L1	Thoracolumbar/Lumbar	L1/2 Disc-L4
CURVE	APEX								
Thoracic	T2-T11/12 Disc								
Thoracolumbar	T12-L1								
Thoracolumbar/Lumbar	L1/2 Disc-L4								

Modifiers		
Lumbar Spine Modifier	CSVL to Lumbar Apex	
A	CSVL between pedicles	
B	CSVL touches apical body(ies)	
C	CSVL completely medial	

Thoracic Sagittal Profile T5-T12	
- (Hypo)	< 10°
N (Normal)	10° - 40°
+ (Hyper)	> 40°

Curve Type (1-6) + Lumbar Spine Modifier (A, B, C) + Thoracic Sagittal Modifier (-, N, +) Classification (e.g. 1B+): _____

Figure 1 : Classification des scolioses selon Lenke

Le choix des niveaux repose donc sur l'analyse de la flexibilité préopératoire de la déformation.

B. Rappel des techniques d'évaluation de la flexibilité préopératoire

Au cours des dernières années, de nombreuses techniques d'évaluation de la flexibilité préopératoire ont été développées : la traction sur cadre de Cotrel, les inclinaisons latérales ou bendings, le fulcrum, le push prone, ou encore la suspension. A ce jour, aucun des différents tests n'a montré de supériorité [8].

- Clichés en inclinaison latérale

Ils sont classiquement réalisés en décubitus dorsal : il est demandé au patient de se pencher au maximum d'abord à gauche puis à droite. Une série de 4 clichés est ainsi obtenue : 2 inclinaisons latérales thoraciques et deux inclinaisons latérales lombaires (figure 2).

Les clichés en inclinaison latérale ou bending sont considérés comme le gold standard pour l'analyse de la flexibilité préopératoire [9] [10] [11]. La classification de Lenke utilise les bending pour déterminer la structuralité des courbures [12]. Si l'angle de Cobb reste supérieur à 25° sur le bending qui corrige la déformation, alors il s'agit d'une courbure qui est structurelle.

Il s'agit d'un test simple à réaliser et qui a montré qu'il analysait aussi bien la flexibilité des scolioses que d'autres méthodes plus contraignantes. Pour les courbures inférieures à 60°, les clichés en inclinaison latérale sont équivalents à au cliché en traction [13]. Il a également été rapporté qu'ils fournissaient des résultats équivalents au push prone[10][14]. Vendatam et al. a montré qu'ils fournissaient les même résultats que le cliché en push-prone pour l'étude de la

réductibilité de l'angle de Cobb mais qui restait néanmoins supérieur pour l'analyse du niveau distal de fusion [15]. Klepps et al. a étudié leur capacité à prédire la correction postopératoire et a montré que la réduction des courbures proximales et lombaires pouvait être prédite par les bendings [10].

Néanmoins, trois critiques peuvent être émises concernant cette technique. Premièrement, les résultats de ce test dépendent de la coopération du patient, qui peut parfois être difficile à obtenir, ensuite, les courbures thoraciques et lombaires sont analysées sur des clichés séparés, ne permettant pas une vision globale de la réduction de la déformation. C'est la raison pour laquelle certains préconisent leur association à un second test de flexibilité indépendant de la coopération du patient et permettant une visualisation complète de la déformation sur un seul cliché comme le cliché en traction ou la suspension [16]. Enfin, c'est un test très irradiant puisqu'il nécessite la réalisation de 4 radiographies.

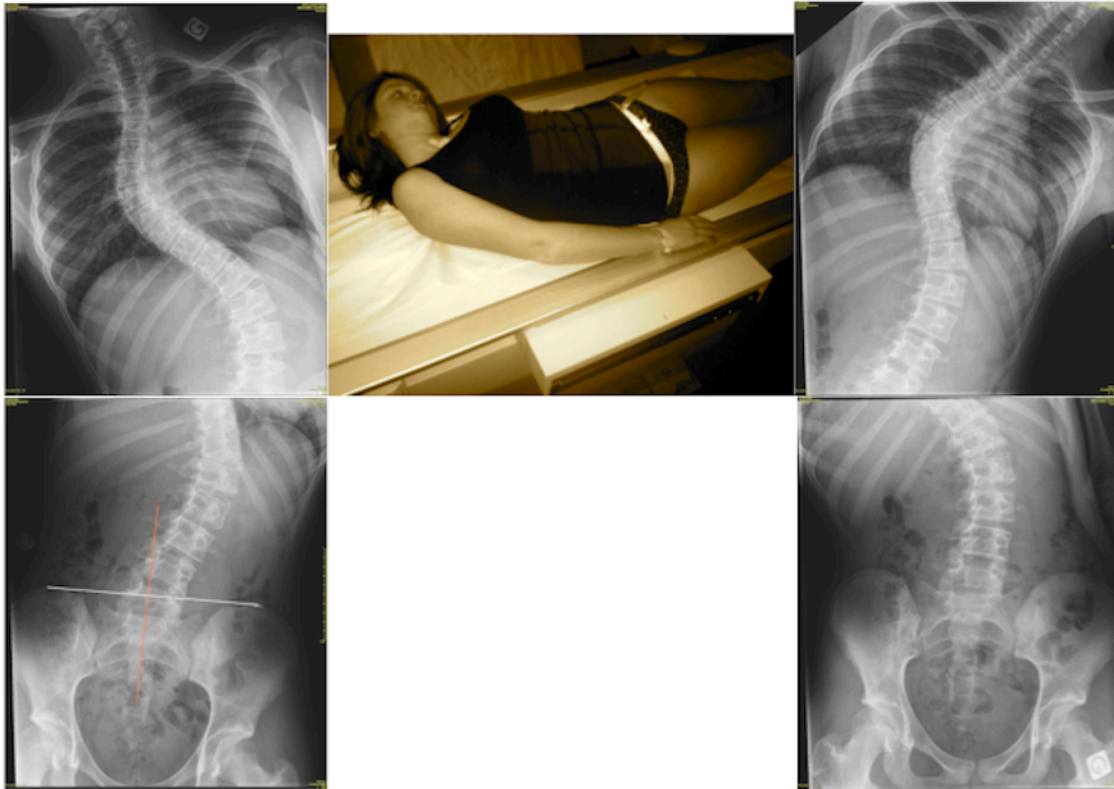


Figure 2 : Série de 4 clichés en inclinaison latérale en position couchée.

- *Cliché en traction sur cadre de Cotrel*

Cette radiographie est réalisée en décubitus dorsal sur cadre de Cotrel (figure 3 à 5). Un collier occipito cervical est placé au niveau de la tête et deux sangles sont placées autour du bassin. La traction est alors appliquée à chaque extrémité jusqu' à atteindre le seuil de tolérance maximale du patient. Une radiographie de face du rachis en entier est alors réalisée.

Le cliché en traction permet de visualiser sur le même film l'ensemble des courbures. Cette technique est plus efficace que les clichés en inclinaison latérale pour les courbures importantes supérieures à 60° [13] [17]. Il s'agit d'une méthode fiable et reproductible. Takashi et al. a montré que la traction

était un très bon prédicateur de l'angle de Cobb en post opératoire jusqu'à 5 ans de recul [18]. Certains auteurs réalisent ce cliché en préopératoire immédiat sous anesthésie générale. Davis et al. a montré que la radiographie en traction sous anesthésie générale était plus efficace que les inclinaisons latérales quelque soit l'importance de l'angle de Cobb [19]. Dans sa série, la réalisation d'un cliché en traction sous anesthésie générale permettait d'éviter un temps de libération antérieure pour 11 patients sur 24. Le cliché en traction peut néanmoins parfois être trop efficace et autoriser une fusion trop courte avec l'apparition de complications jonctionnelles distales à type « d'adding on » [17].



Figure 3 : L'enfant est placé en décubitus dorsal attaché au cadre avec un collier occipito cervical et deux sangles autour du bassin



Figure 4 : Une radiographie de face est réalisée quand la traction maximale est atteinte

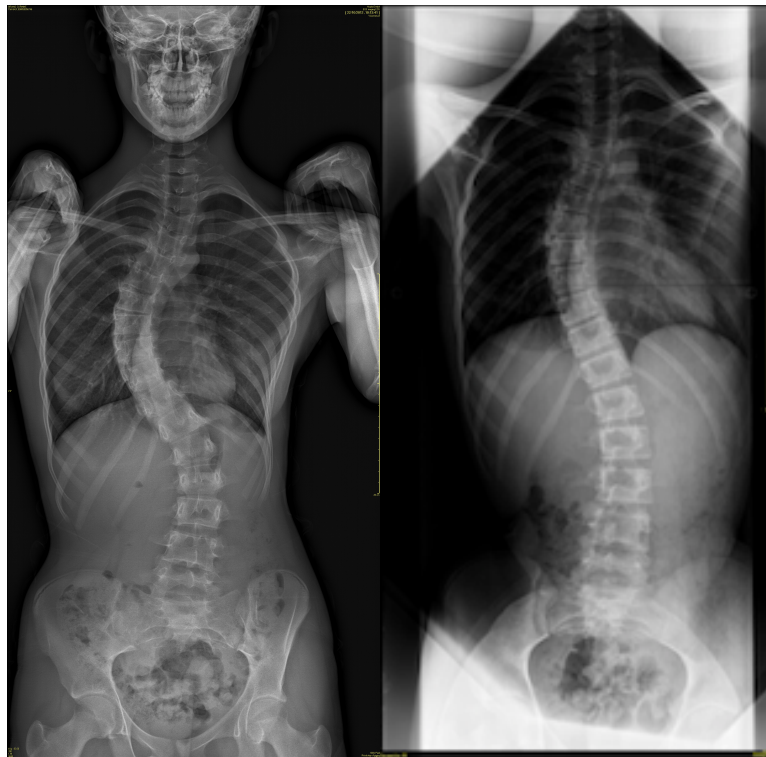


Figure 5 : Radiographie de face du rachis entier montrant la réduction de la déformation lors de la traction (à droite)

- Radiographie de type Fulcrum

Le cliché en « fulcrum » a été décrit en 1997 par Cheung et al. [20]. Il s'agit d'un test au cours duquel le patient est placé en décubitus latéral sur un billot radio transparent. Le billot est placé au niveau du sommet de la convexité. Le test est répété pour chacune des courbures (figure 6). Comme pour la traction et contrairement aux inclinaisons latérales, ce test ne nécessite pas la collaboration active du patient. Cheung et al. a montré qu'il n'y avait pas de différence significative entre l'angle de Cobb en post opératoire immédiat et l'angle de Cobb sur le fulcrum sauf pour les déformations raides où la correction chirurgicale était supérieure [21]. Klepps et al. ont montré que le cliché Fulcrum était plus efficace que le cliché push-prone et que les inclinaisons latérales pour l'analyse de la courbures thoraciques principales mais que les inclinaisons latérales étaient supérieures pour l'analyse des contre courbures.



Figure 6 : Radiographie Fulcrum, le billot est placé sous la convexité

- *Radiographie de type Push Prone*

Ce test a été décrit pour la première fois par Kleinman et al. [14]. Le patient est placé en décubitus dorsal et le technicien de radiologie applique lui-même une pression au niveau de l'apex de chaque courbure (figure 7). Ainsi, comme pour le fulcrum, il ne nécessite pas la coopération du patient. C'est le manipulateur qui applique la force. Il permet également la visualisation de l'ensemble des courbures sur un même film. Les inconvénients sont qu'il s'agit d'un test opérateur dépendant et qu'il engendre une irradiation répétée des mains du manipulateur. Vedantam et al. ont rapporté que le cliché push-prone était un bon prédicateur de l'effet de la correction de la courbure principale sur les contre courbures et de la rotation de la dernière vertèbre instrumentée [15].

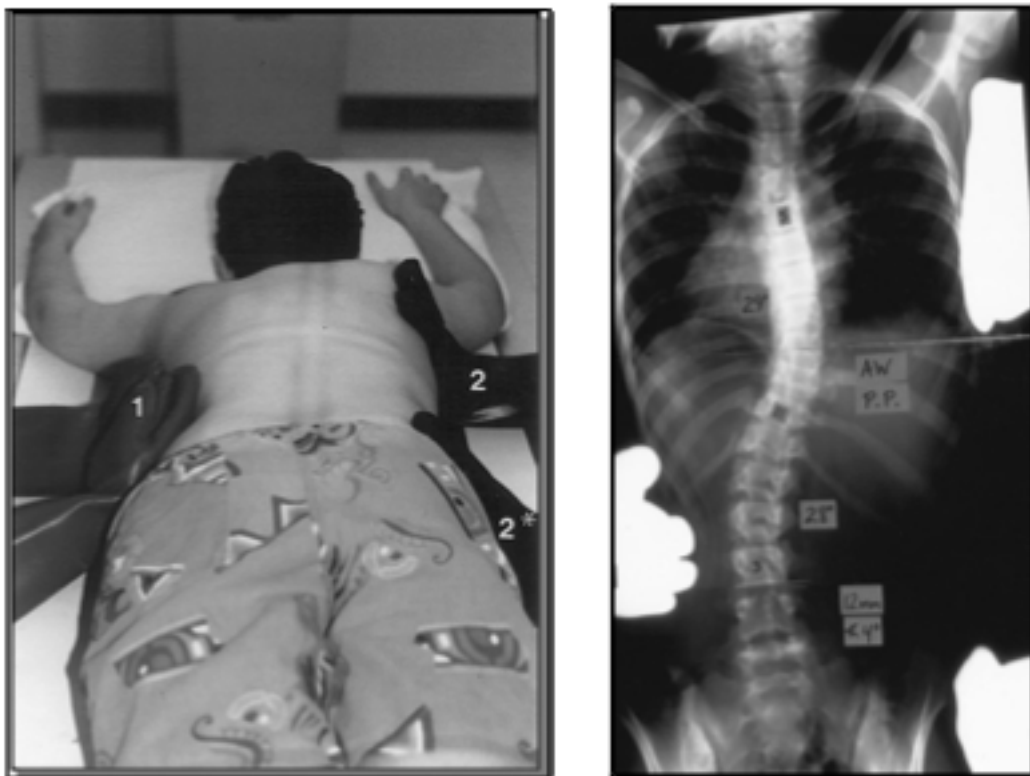


Figure 7 : Push Prone, le technicien de radiologie réalise lui-même la réduction en poussant sur les convexités.

- Radiographie en suspension

Le cliché en suspension à 2/3 du poids du corps a été initialement décrit par Stagnara. Un collier de Sayre est mis en place autour de la tête de l'enfant et une traction verticale est appliquée jusqu'à ce que l'enfant décolle les pieds du sol. Lamarre et al. a montré que la réduction obtenue lors de la suspension était équivalente à celle obtenue par les inclinaisons latérales et même meilleure pour les courbures sévères [8]. Dans sa technique, Lamarre remplace la traction cervicale par une traction axillaire à l'aide d'un harnais placé sous les aisselles

(figure 8). Ceci a l'avantage d'améliorer le confort du patient mais risque néanmoins de modifier l'analyse des épaules et de la courbure thoracique haute.

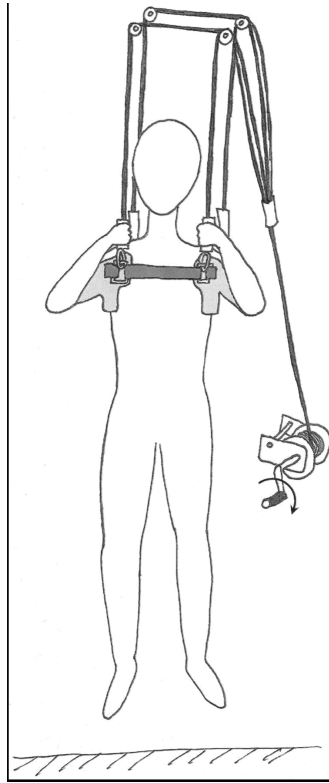


Figure 8 : Radiographie en suspension par les aisselles

Néanmoins, aucune des techniques d'analyse de la réductibilité ne permet l'étude en 3 dimensions de la flexibilité qui négligent donc totalement l'étude de la flexibilité dans le plan sagittal et axial. Par ailleurs, toutes ces techniques utilisent la radiographie standard et ne limite pas l'irradiation du patient. Le tableau 1 a rappelle les avantages et inconvénients de chaque technique.

	AVANTAGES	INCONVENIENTS
INCLINAISON LATERALE	<ul style="list-style-type: none"> - facile à réaliser - technique la plus efficace pour les courbures $< 60^\circ$ - bonne corrélation aux résultats postopératoires 	<ul style="list-style-type: none"> - nécessite la compliance du patient - dose d'irradiation la plus élevée (4 clichés) - séparation des niveaux thoraciques et lombaires - analyse 2D
TRACTION	<ul style="list-style-type: none"> - ne nécessite pas la compliance du patient - technique efficace pour les courbures $> 60^\circ$ - bonne corrélation aux résultats postopératoires - ensemble du rachis visible sur le même cliché 	<ul style="list-style-type: none"> - nécessite un cadre de Cotrel - difficulté de bonne réalisation - technique irradiante - donne parfois des trop bonnes réductions - analyse 2D
FULCRUM	<ul style="list-style-type: none"> - ensemble du rachis visible sur le même cliché - ne nécessite pas la compliance du patient 	<ul style="list-style-type: none"> - moins bonne analyse des contre courbures - technique irradiante - moins bonne technique pour les courbures $> 60^\circ$ - analyse 2D
PUSH PRONE	<ul style="list-style-type: none"> - bonne corrélation au postopératoire quelque soit le type de courbure - bonne prédiction de la dernière vertèbre instrumentée 	<ul style="list-style-type: none"> - irradiation répétée du technicien - irradiation du patient - opérateur dépendant - analyse 2D
SUSPENSION CLASSIQUE	<ul style="list-style-type: none"> - résultats équivalents aux inclinaisons latérales 	<ul style="list-style-type: none"> - inconfort du patient - irradiation - analyse 2D

Tableau 1 : récapitulatif des avantages et inconvénients des différentes techniques d'analyse de la flexibilité préopératoire

C. Nouvelles méthodes d'évaluation en 3 dimensions

Il est aujourd'hui reconnu par l'ensemble de la communauté orthopédique que l'analyse seule de l'angle de Cobb n'est pas suffisante à l'analyse d'une scoliose. En effet, l'angle de Cobb ne permet que l'analyse frontale en deux dimensions d'une déformation tridimensionnelle. Il est en effet aujourd'hui avéré que la correction doit être obtenue aussi bien dans le plan frontal que dans le plan sagittal sous peine de risquer l'apparition de complications au niveau des segments adjacents comme l'a souligné Winter et al. [22].

L'intérêt de l'analyse tridimensionnelle a été récemment souligné par la Scoliosis Research Society (SRS) [23] [24] [25]. Celle-ci peut être réalisée par une reconstruction 3D tomodensitométrique mais au prix d'une irradiation importante et d'une analyse du rachis en position couchée. La stéréoradiographie est une technique consistant à identifier les structures osseuse sur deux clichés radiologiques d'incidence différente (orthogonale de préférence) afin de connaître leur position dans l'espace. Elle peut être réalisée à l'aide d'un système de radiologie standard en faisant l'acquisition successive de deux vues (face et profil) dans un espace calibré, comme décrit par Dumas et al. ou avec le système EOS [26] [27].

L'utilisation de la radiographie basse dose EOS (EOS Imaging, Paris, France) en routine clinique depuis 2007 permet d'éviter ces inconvénients. Son utilisation a été validée pour l'analyse préopératoire et postopératoire des SIA.

Le système de radiographie basse dose EOS a pu voir le jour grâce à la collaboration entre 1) le Prix Nobel Georges Charpak, ingénieur en physique des particules, 2) les ingénieurs en biomécanique du laboratoire des Arts et Métiers Paris Tech (W. Skalli et F. Lavaste), 3) le laboratoire de recherche en Imagerie et Orthopédie (J de Guise, LIO, Montréal, Canada) et 4) de l'équipe de cliniciens de l'hôpital Saint Vincent de Paul à Paris (G. Kalifa du service de radiologie et de J. Dubousset du service d'orthopédie) [28].

Le système EOS (figure 9) est un système de radiographie numérique basse dose réalisant simultanément deux vues orthogonales de face et de profil en position debout, de la tête aux pieds, et à très faible dose d'irradiation [29] [27]. La dose est réduite d'un facteur 6 à 9 par rapport à des radiographies conventionnelles, grâce à des collimations multiples et à l'utilisation de détecteurs gazeux à micropistes [30].



Figure 9 : La cabine EOS

L'acquisition s'effectue par un balayage effectué en quelques secondes, évitant ainsi l'effet d'agrandissement lié à la distance source-récepteur. Le logiciel SterEOS permet ensuite la réalisation de reconstructions en trois dimensions (figure 10) et le calcul automatisé d'indices cliniques qui sont résumés dans une fiche patient fournie par le logiciel d'analyse. L'ensemble des indices cliniques fournis sont mesurés en utilisant le plan patient comme plan de référence défini par la « central hip vertical axis », l'axe vertical passant par le centre des hanches. Chaque vertèbre est identifiée sur une vue globale du rachis mais aussi sur des « vue du dessus » (top view) et vue du dessous (from the bottom).

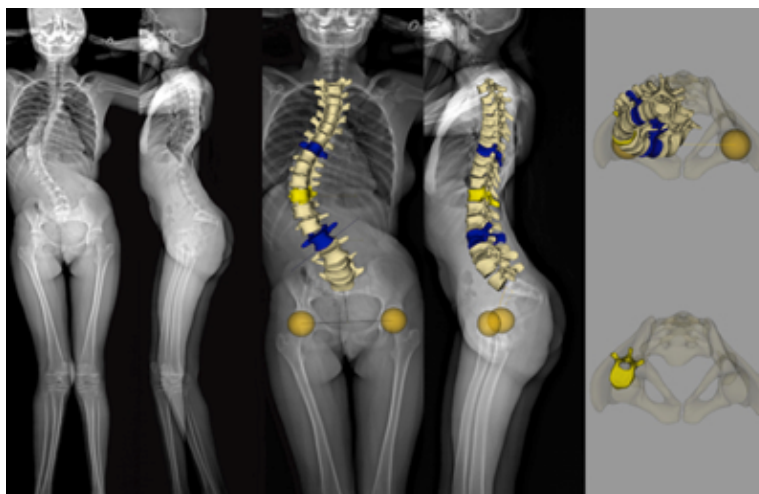


Figure 10 : Reconstruction en 3D obtenue grâce au logiciel sterEOS avec les
« top view » et les « bottom view »

Enfin, les reconstructions automatiques fournissent également une représentation vectorielle comme décrit par Iles (figure 11) [31].

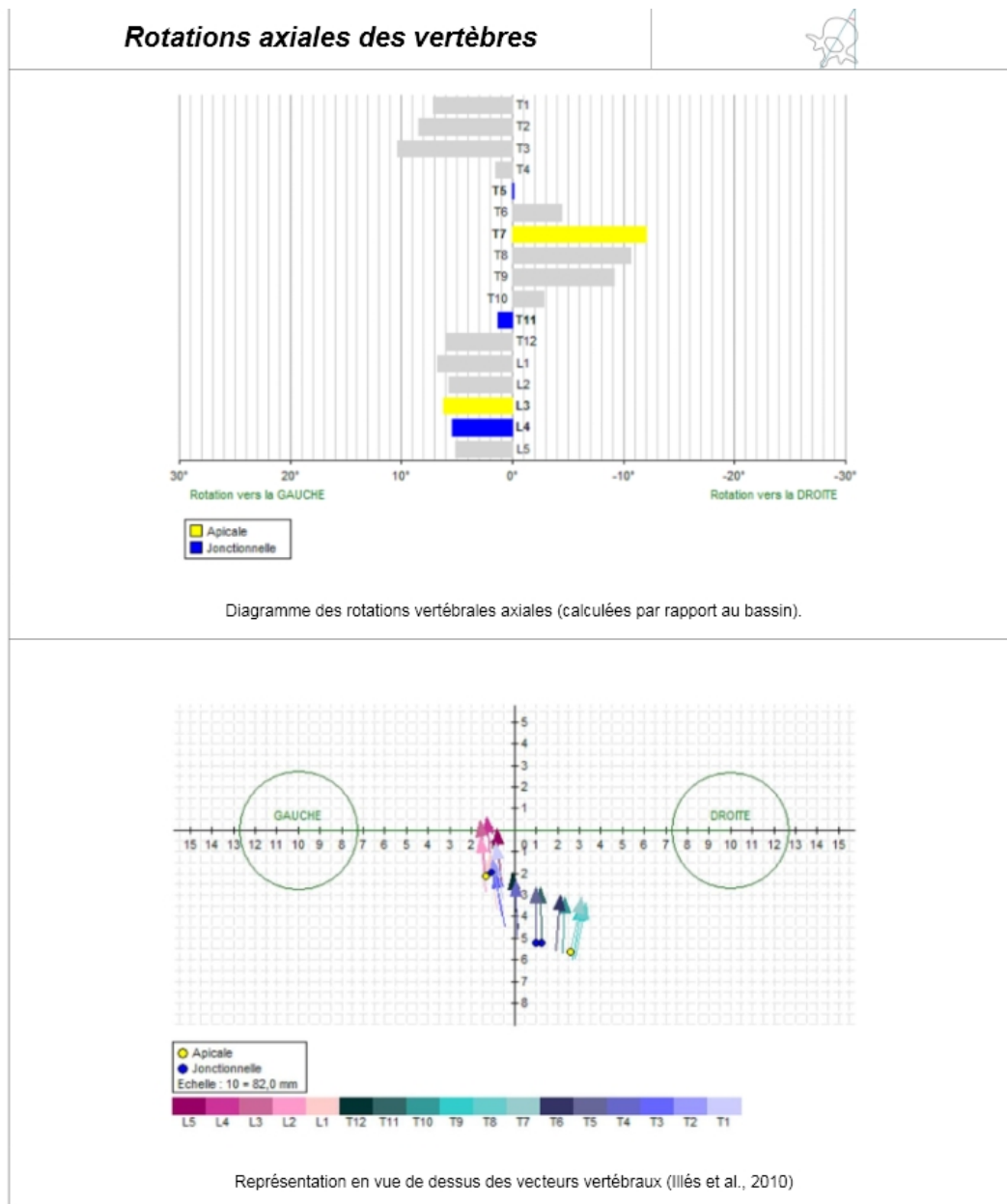


Figure 11 : Représentation vectorielle des vertèbres fournies par SterEOS

La précision des reconstructions rachidiennes a déjà été explorée chez les patients sains et scoliotiques non opérés et plus récemment aussi pour les patients opérés [32] [33] [25].

Néanmoins, le système EOS n'a jamais été utilisé pour l'analyse dynamique de la flexibilité des scolioses idiopathiques de l'adolescent.

Le but de ce travail était de valider l'utilisation de nouveaux examens d'investigation de la flexibilité préopératoire des scolioses idiopathiques de l'adolescent réalisés avec la stéréoradiographie basse dose en les comparant aux examens conventionnels. Nous avons utilisé le système EOS pour la réalisation de clichés en inclinaison latérale debout et de clichés en suspension debout. Nous les avons ensuite comparé aux données provenant des inclinaisons latérales en position couchée et des clichés en traction sur cadre de Cotrel que nous utilisions couramment pour l'analyse de la réductibilité.

Nous avons voulu répondre aux questions suivantes :

- Les clichés en inclinaison latérale debout dans l'EOS sont-ils faisables ?
- Les clichés en inclinaison latérale debout dans l'EOS fournissent-ils les mêmes informations que les clichés en inclinaison latérale classiques ?
- La suspension dans l'EOS est-elle faisable ?
- La suspension dans l'EOS fournit-elle des informations équivalentes à celles fournies par la radiographie en traction ?
- Quel est l'apport de la 3D pour l'analyse de la flexibilité préopératoire ?

III. MATERIELS ET METHODES

A. PATIENTS

Les adolescents présentant une scoliose idiopathique et qui étaient hospitalisés en hôpital de jour dans le cadre de la réalisation de leur bilan préopératoire ont tous été inclus de façon prospective à l'Hôpital Robert Debré entre Avril 2012 et Janvier 2013.

Les patients présentant une scoliose non idiopathique, non compliants ou déjà opérés du rachis étaient exclus de l'étude.

Après analyse du protocole de l'étude, le comité d'éthique local de l'établissement a donné son accord pour la réalisation de l'étude.

Les parents et l'enfant donnaient leur consentement oral après avoir reçu une information éclairée concernant les différentes étapes du bilan d'imagerie. Ces informations étaient données par oral par l'investigateur principal et un livret explicatif illustré leur était également remis.

B. METHODE

1. Bilan d'imagerie réalisé

Au cours de leur journée d'hospitalisation, tous les patients ont eu la même série de radiographies.

Dans un 1^{er} temps, un cliché standard debout EOS, puis dans un 2^{ème} temps, une série de radiographies pour l'analyse de la flexibilité préopératoire.

Celles-ci ont été réalisées dans le même ordre à chaque fois.

- ◆ Cliché standard dans l'EOS
- ◆ Cliché en inclinaison latérale dans l'EOS
- ◆ Cliché en suspension dans l'EOS
- ◆ Clichés en inclinaison latérale en position couchée
- ◆ Cliché en traction sur cadre de Cotrel

2. Méthode de réalisation des différents clichés

◆ *Radiographie EOS standard debout*

Pour le cliché standard, l'enfant est placé debout au centre de la cabine EOS et se tient en « position poing sur les clavicule » qui est la position recommandée par la SRS depuis l'étude de Faro et al. en 2004 [34]. Un cliché simultané face et profil est alors réalisée (figure 12).

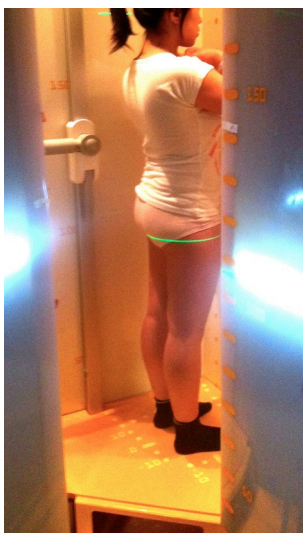


Figure 12 : Position de référence poings sur les clavicules

◆ *Radiographie en suspension dans l'EOS*

Nous avons mis en place un système de suspension dans la cabine EOS (figure 13 à 16). Afin de réaliser la suspension, un collier de Sayre a été fixé à une corde passant à travers une 1^{ère} poulie fixée au dessus du centre de la cabine puis à travers une deuxième poulie avant de venir se bloquer dans un winch autobloquant. Afin de stabiliser l'enfant lors de la suspension et d'éviter la rotation du bassin, nous avons mis en place un système « anti rotation du bassin » composé de deux éléments : une planche en bois découpée aux dimensions de la cabine avec des repose pieds semblables à ceux utilisés en planche à voile a été placée au sol et une barre radio transparente coulissante fixée dans la cabine derrière le patient sur laquelle l'enfant pouvait s'appuyer.



Figure 13 : Système de suspension mis en place dans la cabine EOS composé d'une corde de traction passant dans deux poulies fixées au plafond et rattachée à un winch.

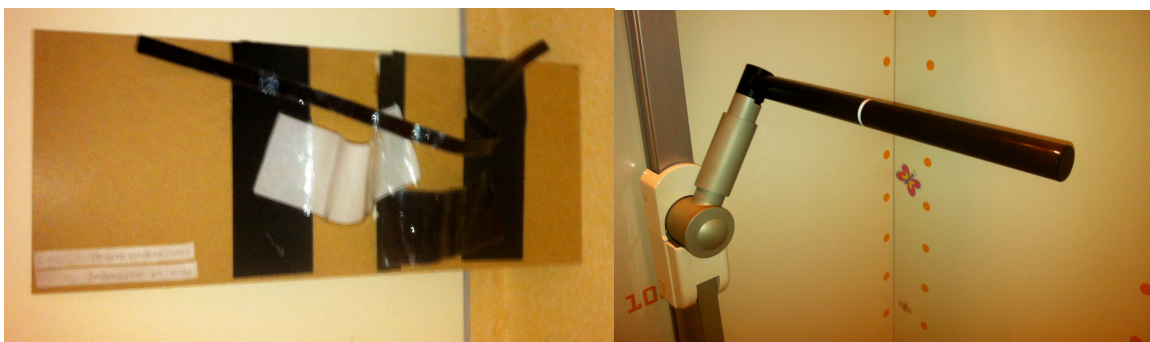


Figure 14 : Système anti rotation composé d'une planche avec des velcro pour fixer les pieds et d'une barre d'appui



Figure 15 : Collier de Sayre fixé à un dynamomètre

Le patient était placé dans la cabine d'EOS en « position poings sur les clavicules », au centre de la cabine. Le collier de Sayre était fixé autour de la tête de l'enfant et ses pieds étaient fixés dans les repose pieds de la planche anti rotation.

Le technicien de radiologie préparait la machine afin de n'avoir aucun temps de latence au moment de l'acquisition de la radiographie et que l'enfant soit suspendu le moins longtemps possible.

La suspension était débutée par le chirurgien. Idéalement, celle-ci était poursuivie jusqu'à ce que la planche sur laquelle étaient fixés les pieds de l'enfant se soulève du sol (figure 16). En cas de mauvaise tolérance, la

suspension était arrêtée avant. L'acquisition EOS était alors réalisée (figure 17) et la traction était immédiatement relâchée grâce au winch autobloquant. La force appliquée a été enregistrée à chaque fois à l'aide d'un dynamomètre fixé au dessus de la tête du patient. La dose d'irradiation a également été enregistrée à l'aide de deux dosimètres placés au niveau de la thyroïde et au dessus du pubis.

La tolérance a été évaluée avec une EVA à la fin du test. Un questionnaire était remis au patient pour analyser la tolérance et le siège de la douleur au cours de la suspension.



Figure 16 : L'enfant est en « position poings sur les clavicules », la traction est appliquée jusqu'à ce la planche se décolle du sol

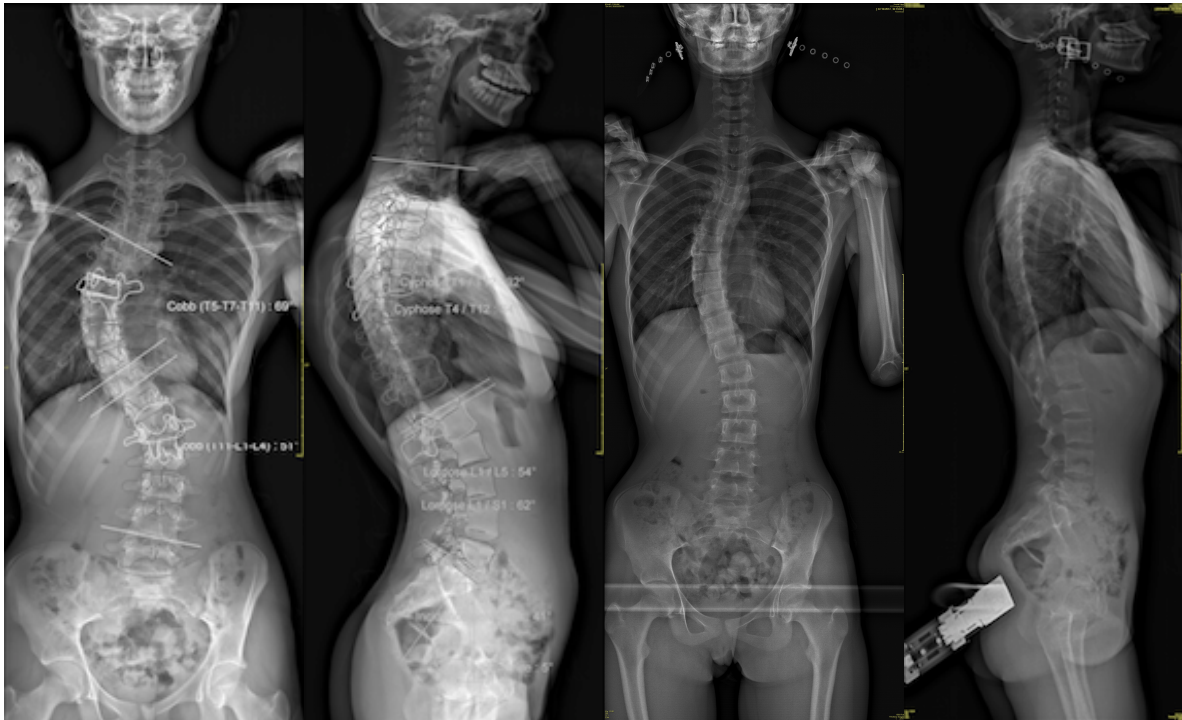


Figure 17 : A gauche, EOS standard de face et profil, à droite EOS suspension

◆ *Inclinaison latérale debout dans l'EOS*

En raison de l'asymétrie de la cabine et afin de disposer d'un espace suffisant pour se pencher de façon maximale latéralement, l'enfant n'a pas pu être placé au centre de la cabine. Il devait être décalé par rapport à la croix centrale et par conséquent seul des clichés de face pouvaient être réalisés.

Pour le cliché en inclinaison latérale gauche, l'enfant était placé en position « dos-plaque », c'est-à-dire le dos collé contre le mur de la cabine. Il lui était alors demandé de se pencher au maximum vers la gauche tout en gardant le dos collé au détecteur et en restant dans les limites verticales marquées une ligne de pointillés sur le détecteur de la cabine : il devait essayer d'atteindre la tête de la fibula avec sa main.

Pour le cliché en inclinaison latérale droite, l'enfant devait se tourner de 180° et être en position « ventre-plaque ». Il se penchait de la même façon vers la droite.

On obtenait ainsi deux clichés du rachis en entier (figure 18 et 19).

Pour chaque cliché, la dose d'irradiation a été enregistrée comme précédemment.



Figure 18 : Réalisation des clichés en inclinaison latérale debout dans l'EOS, l'enfant reste bien centré dans les limites verticales pointillées.

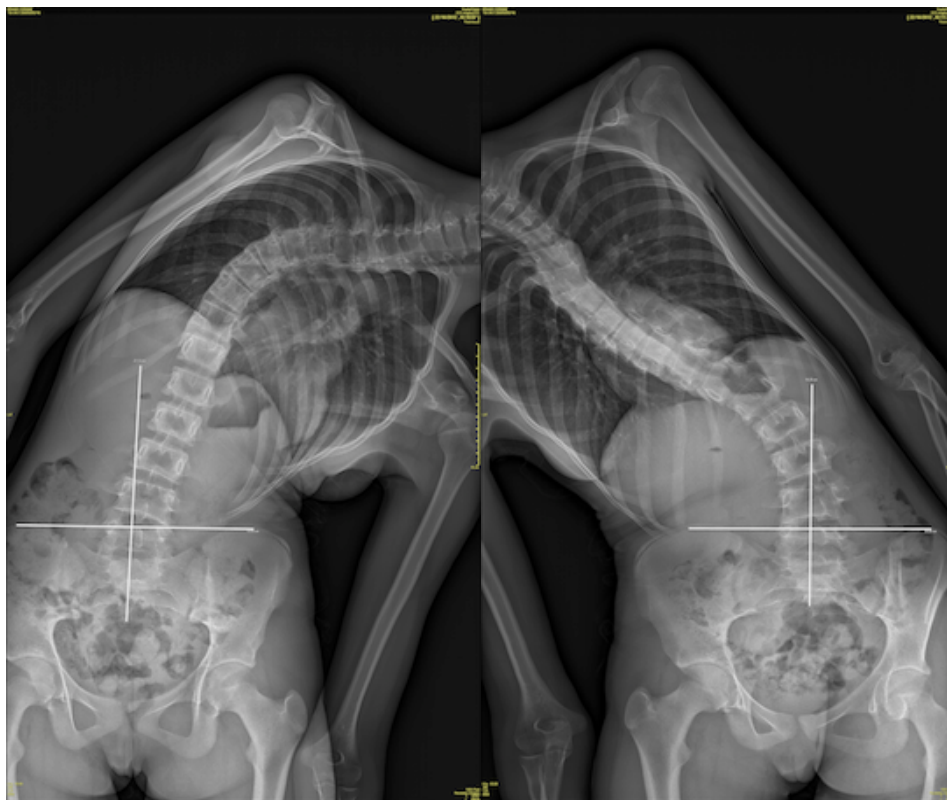


Figure 19 : Clichés en inclinaison latérale debout dans l’EOS : la têtes fémorales sont bien visibles ainsi que le rachis cervical.

◆ *Radiographie en traction sur le cadre de Cotrel*

La technique de réalisation était la même que celle décrite classiquement en introduction.

La force appliquée au cours de l’examen a été enregistrée à l’aide d’un dynamomètre placé à l’extrémité céphalique entre le collier et la sangle de traction. La dose d’irradiation reçue a également été enregistrée à l’aide de deux dosimètres placés au niveau de la thyroïde et au dessus du pubis.

La tolérance a été évaluée à l’issue du test à l’aide d’une échelle visuelle analogique (EVA).

◆ *Clichés en inclinaison latérale en position couchée*

Ils ont été réalisés par la méthode décrite en introduction.

La dose d'irradiation a été enregistrée à l'aide de deux dosimètres placés comme précédemment.

3. Données analysées

a) *Analyse semi automatique SterEOS*

Pour les radiographies EOS standard et en suspension, les reconstructions 3D ont été réalisées par le même investigateur à l'aide du logiciel sterEOS.

Le logiciel SterEOS a lors procédé à une analyse semi automatique contrôlée par l'opérateur pour fournir dans un fichier patient spécifique l'ensemble des valeurs ci dessous:

- Détermination des différentes courbures avec les vertèbres limites et la vertèbre apicale. Le choix des limites et de l'apex étaient systématiquement vérifié par l'investigateur et corrigé si besoin.
- Angle de Cobb pour chaque courbure
- Rotation de la vertèbre apicale
- Index de torsion global de chaque courbure
- Paramètres d'équilibre sagittal :
 - Cyphose T1-T4
 - Cyphose T1-T12

- Cyphose T5-T12
- Lordose lombaire L1-L5
- Incidence pelvienne

L'ensemble de ces valeurs a été calculé en considérant le plan patient comme plan de référence.

Les figures 20 à 23 illustrent les données rendues automatiquement par le logiciel sterEOS.

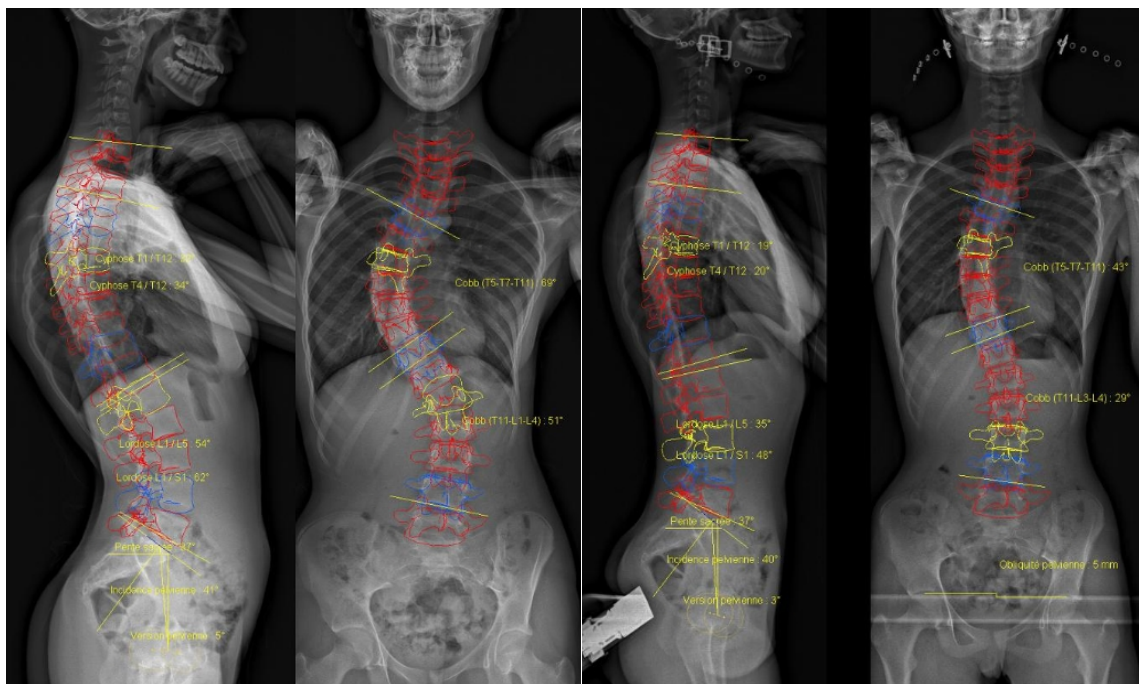


Figure 20 : Le logiciel sterEOS fournit automatiquement les limites des courbures et les valeurs des angles de Cobb

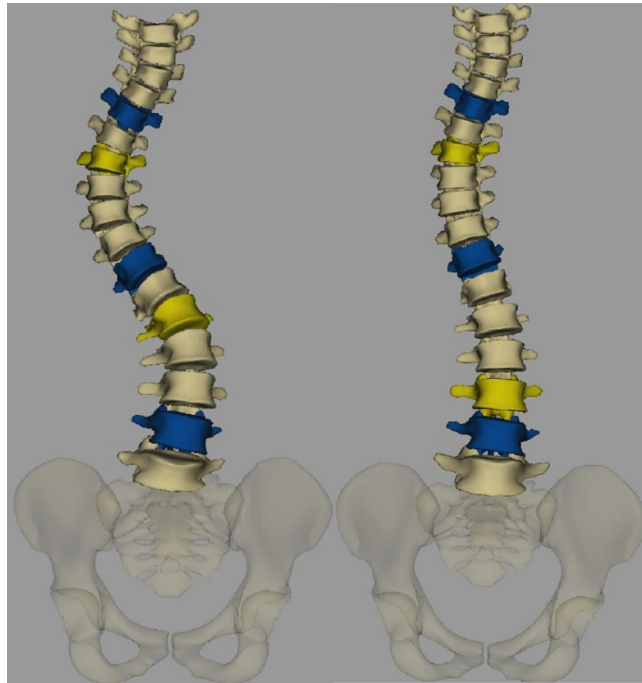


Figure 21 : Reconstruction 3D d'un cliché standard à gauche et d'un cliché en suspension à droite

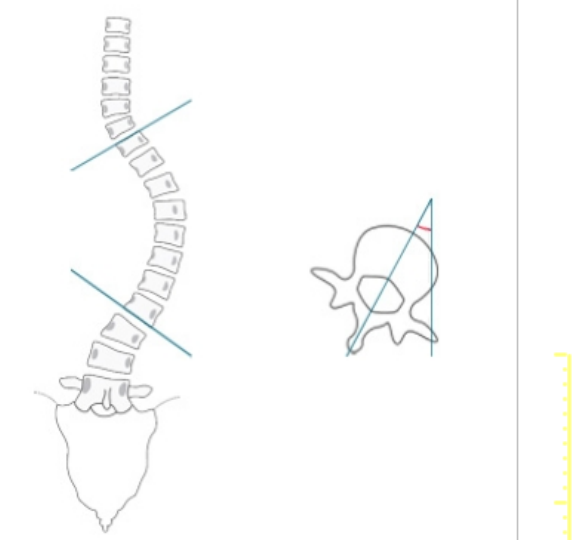
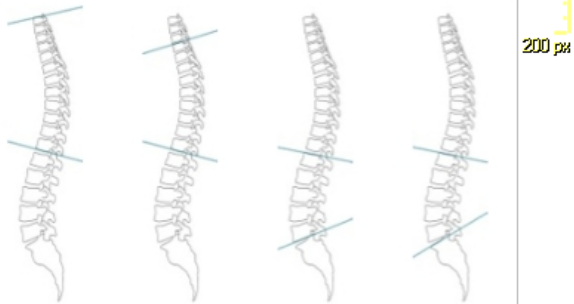
Paramètres pelviens	Plan Patient	Plan Radio				
Incidence pelvienne (°)	40,2	41,1				
Pente sacrée (°)	36,7	37,7				
Version pelvienne (°)	3,5	3,5				
Obliquité pelvienne (mm)	5	5				
Rotation axiale du bassin (°)	0,0	-7,4				
Paramètres scoliose	Plan Patient	Plan Radio				
Cobb (T5-T7-T11) (°)	42,9	40,0				
Rotation axiale de la vertèbre apicale T7 (°)	-12,0	-19,3				
Cobb (T11-L3-L4) (°)	29,2	27,0				
Rotation axiale de la vertèbre apicale L3 (°)	6,2	-1,2				
Equilibre sagittal	Plan Patient	Plan Radio				
Cyphose T1 / T12 (°)	18,7	20,6				
Cyphose T4 / T12 (°)	19,7	23,3				
Lordose L1 / L5 (°)	34,6	36,9				
Lordose L1 / S1 (°)	48,1	50,4				
Orientations vertébrales	Plan Patient Face	Plan Patient Profil	Plan Patient Axiale	Plan Radio Face	Plan Radio Profil	Plan Radio Axiale
R T1 (°)	1,9	7,3	7,1	2,8	7,0	-0,4
R T2 (°)	-2,3	7,6	8,4	-1,3	7,8	0,9
R T3 (°)	-10,2	6,9	10,3	-9,2	8,1	2,9
R T4 (°)	-17,4	5,4	1,5	-16,6	7,6	-5,7
R T5 (°)	-20,1	4,3	-0,1	-19,4	6,9	-7,1
R T6 (°)	-16,1	5,3	-4,4	-15,3	7,3	-11,6
R T7 (°)	-9,0	1,6	-12,0	-8,8	2,8	-19,3
R T8 (°)	1,5	0,0	-10,6	1,5	-0,2	-18,0
R T9 (°)	7,7	-4,5	-9,1	7,1	-5,4	-16,5
R T10 (°)	16,4	-8,4	-2,8	15,2	-10,5	-10,0
R T11 (°)	21,4	-9,9	1,3	20,0	-12,5	-5,8
R T12 (°)	19,0	-12,0	5,9	17,3	-14,4	-1,3
R L1 (°)	10,5	-11,8	6,7	8,9	-13,0	-0,8
R L2 (°)	2,7	-6,9	5,7	1,8	-7,2	-1,8
R L3 (°)	-3,5	-1,8	6,2	-3,7	-1,4	-1,2
R L4 (°)	-8,0	2,4	5,4	-7,6	3,4	-2,0
R L5 (°)	-4,6	14,4	5,1	-2,7	14,9	-2,5
Rotations inter-vertébrales	Plan Radio Face	Plan Radio Profil	Plan Radio Axiale			

EOS imaging

- sterEOS 1.4.5.5934 - créé le : 29/10/2012 - 3D Profil Secondary Capture 10/29/12 16:25:11

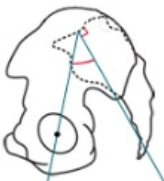

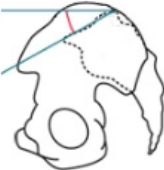
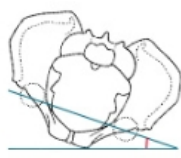
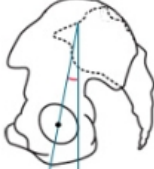
Page 1

Figure 21 : Le logiciel fournit automatiquement toutes les valeurs utiles dans les 3 plans frontal, sagittal et axial.

Paramètres rachis			
Paramètres scoliose (1)		Valeur	
Courbure (T5-T7-T11)	Cobb (T5-T7-T11)	43°	
	Rotation axiale de la vertèbre apicale T7	-12°	
Courbure (T11-L3-L4)	Cobb (T11-L3-L4)	29°	
	Rotation axiale de la vertèbre apicale L3	6°	
Equilibre sagittal (1)		Valeur	
Cyphose T1 / T12		19°	
Cyphose T4 / T12		20°	
Lordose L1 / L5		35°	
Lordose L1 / S1		48°	

(1) Paramètres calculés dans le repère du patient (basé sur un plan vertical passant par le centre des cotyles), qui corrige l'effet d'une potentielle rotation axiale du bassin lors de l'acquisition.
 Une rotation axiale de la vertèbre est de signe positif lorsque celle-ci est en rotation vers le côté gauche du patient.

Figure 22 : Données fournis par sterEOS

Paramètres pelviens					
Paramètres pelviens	Valeur		Paramètres pelviens	Valeur	
Incidence pelvienne (1)	40°		Obliquité pelvienne (1)	5 mm	
Pente sacrée (1)	37°		Rotation axiale du bassin (2)	-7°	
Version pelvienne (1)	3°				

(1) Paramètres calculés dans le repère du patient (basé sur un plan vertical passant par le centre des cotyles), qui corrige l'effet d'une potentielle rotation axiale du bassin lors de l'acquisition.
(2) Une rotation axiale du bassin est de signe positif lorsque celui-ci est en rotation vers la gauche.

Fin du rapport 200 px

Figure 23 : Analyse du bassin et des paramètres pelviens

b) Analyse manuelle des radiographies 2D

Pour les autres radiographies, la traction Cotrel, les bendings standard et les bendings EOS, l'analyse a été réalisée sur le logiciel PACS dont l'utilisation a été validée pour les mesures d'angles de Cobb [35]. Le même investigateur a réalisé toutes les mesures :

- L'angle de Cobb pour chaque courbure
- L'angle ilio lombaire (angle formé entre le plateau inférieur de L4 et l'horizontale passant par les sacro-iliaques)
- Choix du premier disque mobile correspondant au disque qui s'ouvre de façon identique en inclinaison latérale droite et gauche.

4. Analyse statistique

a) Analyse comparative des clichés en inclinaison latérale couché versus inclinaison latérale dans l'Eos

Les critères de comparaison étaient les suivants :

- ***Réduction de l'angle de Cobb pour chaque courbure et réduction de l'angle iliolombaire***

La réductibilité de l'angle de Cobb était calculée selon la formule ci-dessous :

Réductibilité du Cobb % = (Cobb pré-test – Cobb post-test) / Cobb post-test *

100

- *Niveau du 1^{er} disque mobile* : le 1^{er} disque mobile était celui qui s'ouvrait de façon équivalente sur le bending droit et gauche
- *Dose d'irradiation reçue en mS*

Pour l'étude comparative, nous avons réalisé l'étude statistique sur Microsoft Excel 2011 avec le logiciel XLSTAT (Addinsoft SARL, Paris, France).

L'analyse comparative a comporté deux parties :

- Comparaison globale des deux groupes

Pour cela un test de Student sur série appariée avec une valeur de $p < 0.05$ reconnue comme statistiquement significative.

- Comparaison de sous-groupes en fonction de différents critères

✓ 1^{ère} étude de sous groupes pour *les courbures* $> et < à 55^\circ$, valeur limite décrite par Panjabi pour distinguer les courbures sévères des non sévères [36].

✓ 2^{ème} étude de sous groupes en fonction la *classification de Lenke*

Pour cette analyse comparative de sous-groupes, nous avons utilisé le test de non paramétrique de Wilcoxon plus adapté à la taille des sous-groupes avec $p < 0.05$ comme statistiquement significatif.

b) Analyse comparative traction Cotrel versus Suspension EOS

Les critères de comparaison étaient les suivants :

- ***Réduction de l'angle de Cobb pour chaque courbure et réduction de l'angle iliolombaire***
- ***Dose d'irradiation reçue en mS***
- ***Tolérance du test mesurée par l'EVA***

L'analyse statistique était réalisée comme pour les clichés en inclinaison latérale.

c) Analyse comparative globale

Une comparaison globale pour la réduction de l'angle de Cobb a été réalisée entre les différentes méthodes d'évaluation de la flexibilité préopératoire.

Un test de Student sur série appariée a été utilisé avec $p < 0.05$ comme statistiquement significatif.

d) Analyse des données 3D fournies par EOS en suspension

Les reconstructions 3D permettaient l'analyse du plan axial et du plan sagittal.

- ✓ Dans le plan axial : nous avons déterminé la *réductibilité de la rotation de la vertèbre apicale* et de *l'indice de torsion globale*

selon la formule :

$$\text{Réductibilité \%} = (\text{Rotation pré-test} - \text{Rotation post-test}) / \text{Rotation pré-test} * 100$$

Nous avons recherché l'existence d'une corrélation entre réduction de la rotation et réduction de l'angle du Cobb par un test de Pearson

- ✓ Dans le plan sagittal : nous avons déterminé la *réductibilité de la cyphose proximale T1-T4 et de la cyphose globale T1-T12* selon la formule :

$$\text{Réductibilité \%} = (\text{Cyphose pré-test} - \text{Cyphose post-test}) / \text{Cyphose pré-test} * 100$$

IV. RESULTATS

A. PATIENTS

Au total, nous avons inclus 50 patients pour cette étude.

Il y avait 40 filles et 10 garçons.

L'âge moyen était de 15.6 ans (+/-1.9)

Le poids moyen était de 53.3 Kg (+/- 8.1)

La distribution des patients selon la classification de Lenke est décrite dans le tableau 2 ci-dessous:

	LENKE 1	LENKE 2	LENKE 3	LENKE 4	LENKE 5	LENKE 6
Nombres de patients	23/50	10/50	4/50	4/50	6/50	3/50

Tableau 2 : Répartition des patients selon la classification de Lenke

Les valeurs moyennes en position debout mesurées à l'aide du logiciel sterEOS sur les reconstructions 3D des clichés standard sont fournis dans le tableau 3 ci-dessous.

<u>Paramètre</u>	<u>Valeur en °</u>
Cobb thoracique supérieure	24.9 +/- 10.6
Cobb thoracique principale	53.6 +/- 11.9
Cobb lombaire	37.5 +/- 14.7
Angle ilio lombaire	9.8 +/- 5.8
Cyphose T1-T12	33.8 +/- 15.9
Cyphose T1-T4	7.9 +/- 7.7
Cyphose T4-T12	25.9 +/- 17.6
Lordose L1-L5	52.3 +/- 12.7
Incidence pelvienne	48.8 +/- 9.3

Tableau 3 : Valeurs moyennes dans le plan frontal et sagittal

B. ANALYSE COMPARATIVE INCLINAISON LATÉRALE COUCHEE VERSUS EOS

1. Faisabilité des inclinaison latérale debout dans l'EOS

Les clichés en inclinaison latérale droite et gauche ont pu être réalisés dans tous les cas.

La totalité du rachis et le bassin étaient visualisés à chaque fois sur chacun des clichés.

Dans 2 cas nous avons dû refaire la radiographie en inclinaison latérale droite en raison d'un problème de centrage.

2. Analyse de la réduction de l'angle de Cobb pour chaque courbure

a) Analyse globale de la flexibilité

Il n'y avait pas de différence significative pour la réduction de l'angle de Cobb entre les inclinaisons latérales couchées et debout dans l'EOS. Les résultats globaux sont résumés dans le tableau 4.

Réduction de l'angle de Cobb (%)	<u>Bendings couchés</u>	<u>Bending EOS</u>	<u>P</u>
Courbure thoracique haute	50.7 +/- 28.2	51.1 +/- 30.3	Ns
Courbure principale	59.9 +/- 20.6	56.7 +/- 22.5	Ns
Courbure lombaire	78.2 +/- 20.6	73.2 +/- 25.3	Ns
Angle Iliolombaire	57.1 +/- 36.2	62.6 +/- 31	Ns

Tableau 4 : Valeur moyenne de la réductibilité de l'angle de Cobb pour chaque courbure sur les inclinaisons latérales couchées et debout

b) Analyse en sous-groupes

(1) Cobb principal > ou < à 55°

Concernant la flexibilité de l'angle de Cobb : il n'y avait aucune différence significative entre les bendings couchés et debout dans l'EOS que l'angle de Cobb soit > ou < à 55°. Le tableau 5 résume les résultats.

	<i>Courbure principale < 55°</i>			<i>Courbure principale > 55°</i>		
	Bending couchés	Bending EOS	p	Bending couchés	Bending EOS	P
Cobb 1	59.9% +/-30.3	61.2% +/-29.8	0.88	39.4% +/- 19.9	45.5% +/-17.8	0.20
Cobb 2	68.1% +/-20.6	71.8% +/-36.2	0.64	47.8% +/-16.0	48.6% +/-17.8	0.53
Cobb 3	74.8% +/-23.1	79.5% +/-35.2	0.99	83.6% +/-16.1	83.7% +/- 23.9%	0.76
AIL	57.5% +/- 37.3	54.4% +/- 35.4	0.99	55.1% +/-35.5	70 .9% +/- 26.4	0.16
1. courbure thoracique supérieure 2. courbure principale 3. courbure lombaire AIL angle iliolombaire						

Tableau 5 : Analyse en sous-groupes en fonction de l'angle de Cobb

(2) Analyse en sous-groupes en fonction du Lenke

L'analyse en sous-groupe en fonction de la classification de Lenke n'a pas retrouvé de différence entre les bendings couchés et les bendings EOS en terme de réductibilité de l'angle de Cobb (tableaux 6 à 8).

LENKE 1	Bending EOS	Bending Couché	P
Thoracique supérieure	57.1 +/- 26.5	51.6 +/- 28.2	0.54
Thoracique principale	58.1 +/- 17.2	55.8 +/- 17.2	0.07
Lombaire	78.7 +/- 26.1	84.1 +/- 13.5	0.39
Angle ilio-lombaire	57.9 +/- 33.7	61.5 +/- 36.8	0.85

Tableau 6 : Réductibilité de l'angle de Cobb pour les déformations Lenke 1

LENKE 2	Bending EOS	Bending couché	P
Thoracique supérieure	44.7 +/- 24.5	36.5 +/- 16.6	0.25
Thoracique principale	48.5 +/- 20.9	46.4 +/- 16.8	0.41
Lombaire	75.5 +/- 25.9	82.9 +/- 17.4	0.10
Angle ilio-lombaire	57.5 +/- 36.8	45.5 +/- 41.2	0.46

Tableau 7 : Réductibilité de l'angle de Cobb pour les déformations Lenke 2

LENKE 3/4	Bending EOS	Bending couché	P
Thoracique supérieure	49.1 +/- 40.5	50.2 +/- 34.9	0.85
Thoracique principale	42.9 +/- 11.2	44.5 +/- 26.1	0.90
Lombaire	83.8 +/- 11.6	76.1 +/- 18.2	0.59
Angle ilio-lombaire	55.9 +/- 34.1	45.1 +/- 26.5	0.10

Tableau 8 : Réductibilité de l'angle de Cobb pour les déformations Lenke 3/4

LENKE 5/6	Suspension EOS	Traction Cotrel	P
Thoracique supérieure	63.8 +/- 39.6	64.1 +/- 24.8	0.9
Thoracique principale	97.8 +/- 47.5	70.1 +/- 24.8	0.18
Lombaire	78.5 +/- 22.9	63.1 +/- 31.8	0.10
Angle ilio-lombaire	81.9 +/- 11.6	68.3 +/- 31.5	0.68

Tableau 9 : Réductibilité de l'angle de Cobb pour les déformations Lenke 5/6

3. Choix du 1^{er} disque mobile

Le 1^{er} disque mobile était celui qui s'ouvrait de façon symétrique sur le cliché en inclinaison latérale droite et gauche. Il n'y avait pas de différence significative en terme de choix du 1^{er} disque mobile entre les inclinaison latérales couchées et debout dans l'EOS ($p>0.05$).

La figure 24 rapporte l'apport de l'EOS pour le choix du 1^{er} disque mobile.

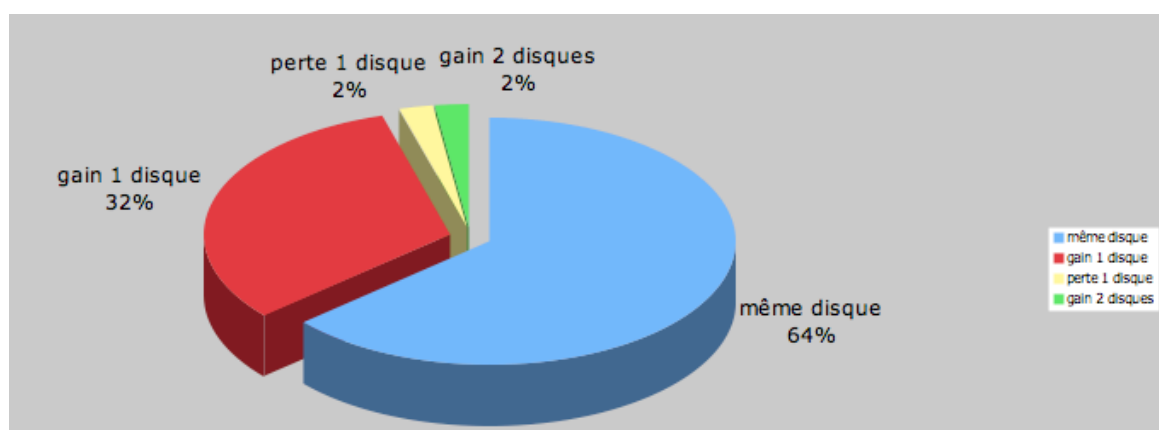


Figure 24 : Apport de l'EOS pour le choix du 1^{er} disque mobile, il n'y avait pas de différence significative par rapport aux clichés en inclinaison latérale couchée

4. Dose d'irradiation reçue

La dose d'irradiation reçue était significativement moins importante lors des clichés dans l'EOS.

	Bending debout	Bending couché	Ratio debout/couché	p
Dose en mS	2.1 +/- 0.97	0.37 +/- 0.07	* 5	<0.05

Tableau 10 : dose d'irradiation reçue en mS lors des différents clichés

C. ANALYSE COMPARATIVE EOS SUSPENSION VERSUS TRACTION

1. Analyse globale comparative des deux groupes

Pour les courbures thoraciques hautes et thoraciques principales, il n'y avait pas de différence significative en terme de réductibilité de l'angle de Cobb. Pour les courbures lombaires et l'angle ilio lombaire, la réductibilité de l'angle de Cobb était supérieure avec la traction (figure 25 et 26). Les résultats sont reportés dans le tableau 11.

	<u>Traction</u>	<u>Suspension</u>	<u>P</u>
Thoracique haute	28.1%	27.7%	<u>0.71</u>
Thoracique principale	45.2%	42.3%	<u>0.32</u>
Lombaire	53.5%	42.9%	<u>0.005</u>
Angle ilio lombaire	39.4%	11.1%	<u>0.002</u>

Tableau 11 : Réductibilité de l'angle de Cobb dans le plan frontal pour chacune des courbures et pour l'angle iliolumbaire

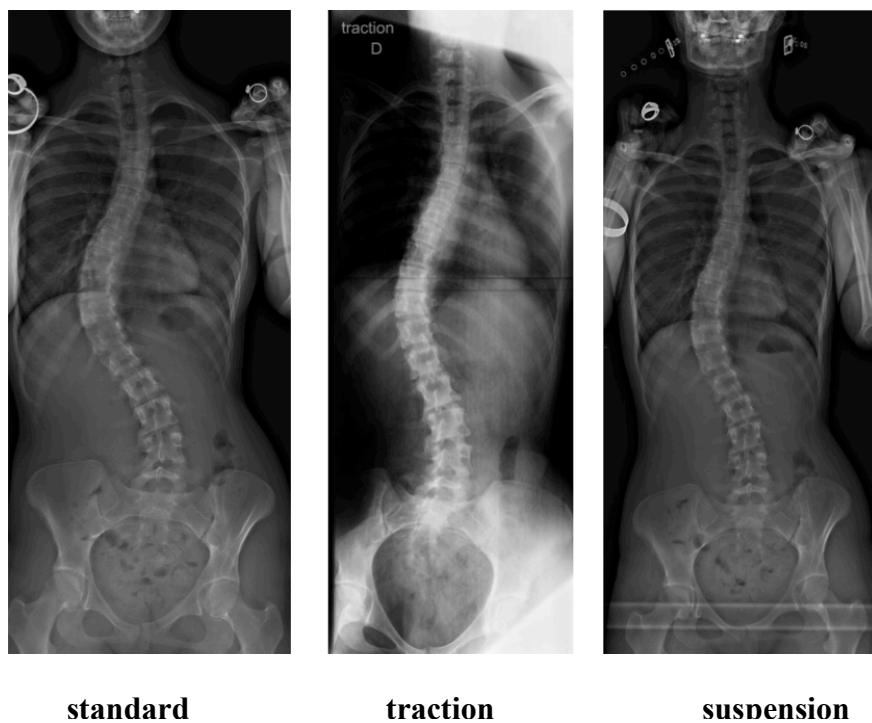


Figure 25 : Une patiente de 15ans, présentant une SIA Lenke 1 : la réductibilité du Cobb est similaire en traction et en suspension

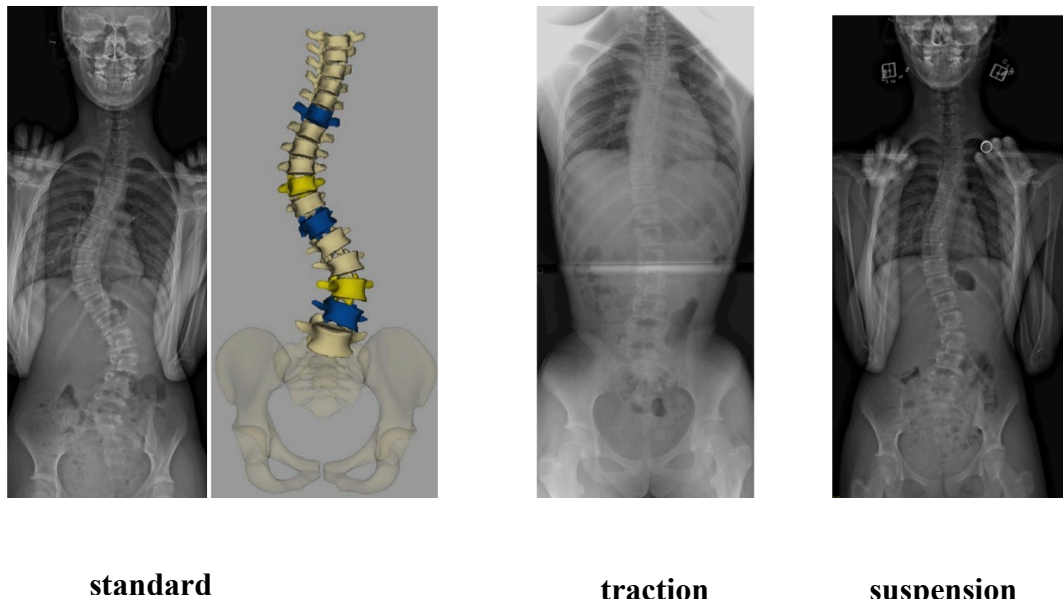


Figure 26 : Une patiente de 14ans, présentant une SIA de type 5. La courbure lombaire est mieux réduite par la traction que par la suspension

2. Analyse en sous-groupes

a) Analyse en sous-groupe : Cobb principal > ou < à 55°

Pour les déformations avec un angle de Cobb $< 55^\circ$, les résultats étaient identiques à ceux décrits précédemment. Pour les déformations avec un angle de Cobb $> 55^\circ$, la traction et la suspension fournissaient les mêmes résultats en terme de flexibilité de l'angle de Cobb pour toutes les courbures, sauf pour l'angle ilio-lombaire où la traction restait supérieure. Les résultats sont résumés dans le tableau 12.

	<i>Courbure principale < 55°</i>			<i>Courbure principale > 55°</i>		
	Réductibilité en Traction	Réductibilité en Suspension	p	Réductibilité en Traction	Réductibilité en Suspension	p
Cobb 1	37.3 % +/- 25.5	29.6 % +/- 24.2	0.08	19.1 % +/- 15.4	23.3 % +/- 14.5	0.07
Cobb 2	48.2 % +/- 17.7	43.9 % +/- 17.3	0.18	41.7 % +/- 12.2	41.9 % +/- 14.3	0.46
Cobb 3	59.1 % +/- 20.1	43.6 % +/- 22.0	0.009	51.4 % +/- 13.1	47.7 % +/- 17.7	0.18
AIL	59.6 % +/- 40.5	29.7 % +/- 36.5	≤ 0.001	75.5 % +/- 27.8	59.6 % +/- 40.5	≤ 0.001
4. courbure thoracique supérieure 5. courbure principale 6. courbure lombaire AIL angle iliolumbaire						

Tableau 12 : Réductibilité de l'angle de Cobb pour la traction et la suspension
en fonction de la courbure principale

*b) Analyse comparative des sous-groupes en fonction de la
classification de Lenke.*

Pour les déformations classées Lenke 1 et 2, la traction et la suspension étaient similaires pour toutes les courbures sauf pour l'angle ilio-lombaire où la traction était supérieure (tableau 13 et 14).

LENKE 1	Suspension EOS	Traction Cotrel	p
Thoracique supérieure	25.7 +/- 20.9	29.7 +/- 26.7	0.16
Thoracique principale	47.1 +/- 16.2	49.8 +/- 13.1	0.29
Lombaire	49.8 +/- 19.5	56.8 +/- 18.9	0.50
Angle ilio-lombaire	36.4 +/- 40.1	68.6 +/- 48.9	<u>0.01</u>

Tableau 13 : Réductibilité de l'angle de Cobb pour les déformations Lenke 1

LENKE 2	Suspension EOS	Traction Cotrel	p
Thoracique supérieure	24.7 +/- 8.0	19.1 +/- 13.1	0.06
Thoracique principale	36.6 +/- 14.7	37.4 +/- 11.9	0.77
Lombaire	42.8 +/- 9.9	55.1 +/- 8.2	0.77
Angle ilio-lombaire	13.1 +/- 15.4	67.4 +/- 33.5	<u>0.002</u>

Tableau 14 : Réductibilité de l'angle de Cobb pour les déformations Lenke 2

Pour les déformations Lenke 3 et 4, on retrouvait les mêmes résultats. En lombaire, la différence était à la limite de la significativité en faveur d'une supériorité de la traction (tableau 15).

LENKE 3/4	Suspension EOS	Traction Cotrel	p
Thoracique supérieure	21.3 +/- 22.9	23.6 +/- 22.4	0.62
Thoracique principale	32.1 +/- 16.5	40.0 +/- 19.5	0.37
Lombaire	30.9 +/- 12.1	48.0 +/- 20.3	<u>0.06</u>
Angle ilio-lombaire	13.1 +/- 15.0	64.1 +/- 36.9	<u>0.01</u>

Tableau 15 : Réductibilité de l'angle de Cobb pour les déformations Lenke 3/4

Pour les déformations Lenke 5 et 6, la traction était supérieure à la suspension pour la courbure lombaire et l'angle ilio-lombaire (tableau 16).

LENKE 5/6	Suspension EOS	Traction Cotrel	p
Thoracique supérieure	33.8 +/- 32.6	40.3 +/- 34.1	0.45
Thoracique principale	48.5 +/- 12.4	48.3 +/- 21.4	0.50
Lombaire	46.3 +/- 22.6	58.9 +/- 23.9	<u>0.005</u>
Angle ilio-lombaire	34.8 +/- 35.2	72.3 +/- 36.9	<u>0.01</u>

Tableau 16 : Réductibilité de l'angle de Cobb pour les déformations Lenke 5/6

3. Force appliquée au cours de la suspension et de la traction et tolérance des tests

a) Force appliquée au cours des différents test

Au cours de la suspension, la force moyenne appliquée a été supérieure à la celle appliquée lors de la traction. Le ratio force/poids du patient était également plus important lors de la suspension mais l'écart type était plus faible lors de la suspension (tableau 17).

	TRACTION	SUSPENSION	P
FORCE (N)	11.8 (4-25)	42.3 (20-60)	<0.05
% poids du corps	23% +/- 40%	80% +/- 19%	<0.05

Tableau 17 : Analyse de la force appliquée pendant la suspension et la traction

b) Analyse de la tolérance

L'EVA moyen recueilli après le test en suspension et après le test en traction est reporté dans le tableau 18 ci dessous. En moyenne, le test en suspension était moins bien toléré que le test en traction.

	SUSPENSION	TRACTION	P
EVA MOYEN	5.6 (+/- 2.1)	3.1 (+/- 1.9)	<0.05
MIN-MAX	0-10	0-8	

Tableau 18 : Analyse de la tolérance de la suspension et de la traction avec l'EVA

Le questionnaire rempli à la fin du test en suspension révélait que lors de la suspension dans l'EOS, la plainte principale se situait au niveau du cou.

L'analyse du siège de la douleur maximale lors de la suspension est reportée dans le diagramme ci-dessous :

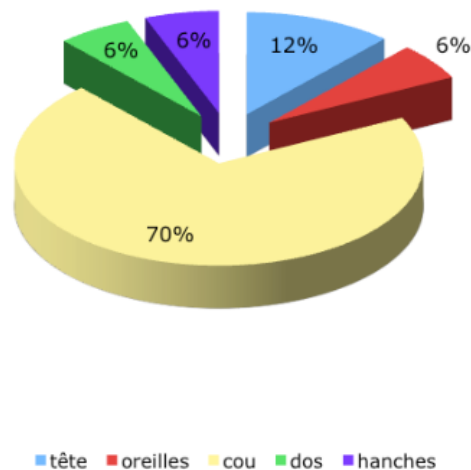


Figure 25 : Analyse du siège de la douleur lors de la suspension, en majorité la douleur se situe au niveau du cou

4. Irradiation reçue lors des différents tests

La dose moyenne de rayonnement reçue par les patients en mS est reportée dans le tableau 19 ci-dessous. La dose totale était inférieure avec EOS.

	Traction Cotrel	Suspension EOS	Ratio traction/EOS	p
Dose en mS	3.1 +/- 0.77	0.44 +/- 0.27	* 7	< 0.05

Tableau 19 : Dose d'irradiation reçue lors des différents tests.

D. ANALYSE GLOBALE DE LA REDUCTIBILITE DU COBB

La réductibilité de l'angle de Cobb en fonction des différents tests est reportée dans le tableau 20. L'analyse comparative des tests est reportée dans le tableau 21.

Réductibilité angle de Cobb	Thoracique supérieure	Courbure principale	Lombaire	Angle ilio lombaire
Suspension	27.7%	42.3%	42.3%	11.1%
Traction	28.1%	45.2%	53.5%	39.4%
Bending couche	50.7%	57.9%	78.5%	61.5%
Bending EOS	52.4%	55.4%	75.7%	64.6%

Tableau 20 : Réductibilité de l'angle de Cobb dans le plan frontal en fonction du test utilisé.

<u>Valeur de p</u>	Thoracique haute	Thoracique principale	Lombaire	Angle ilio-lombaire
Suspension vs Traction	0.71	0.32	<u>0.006</u>	<u>0.002</u>
Bending EOS vs Traction	<u>< 0.0001</u>	<u>< 0.0001</u>	<u>< 0.0001</u>	0.19
Bending EOS vs Suspension EOS	<u>< 0.0001</u>	<u>< 0.0001</u>	<u>< 0.0001</u>	<u>< 0.0001</u>
Bending EOS vs Bending couché	0.92	0.34	0.18	0.34

Tableau 21 : Analyse comparative globale des différents tests

E. ANALYSE DES DONNEES 3D LORS DE LA SUSPENSION EOS

1. Analyse des données dans le plan axial

La rotation de la vertèbre apicale était déterminée sur le cliché standard et le cliché en suspension. Le système EOS permet de déterminer la rotation dans deux plans : soit en considérant le plan patient comme plan de référence et soit en considérant le plan cabine comme plan de référence. Dans 50% des cas la rotation dans le plan patient était différente de la rotation dans le plan cabine. EOS permettait de prendre en compte la rotation du bassin.

La réduction de la rotation était alors calculée. L'indice de torsion globale était également déterminé ainsi que la réduction de la torsion. La figure 26 montre la réduction de la rotation en représentation vectorielle selon Iles [31].

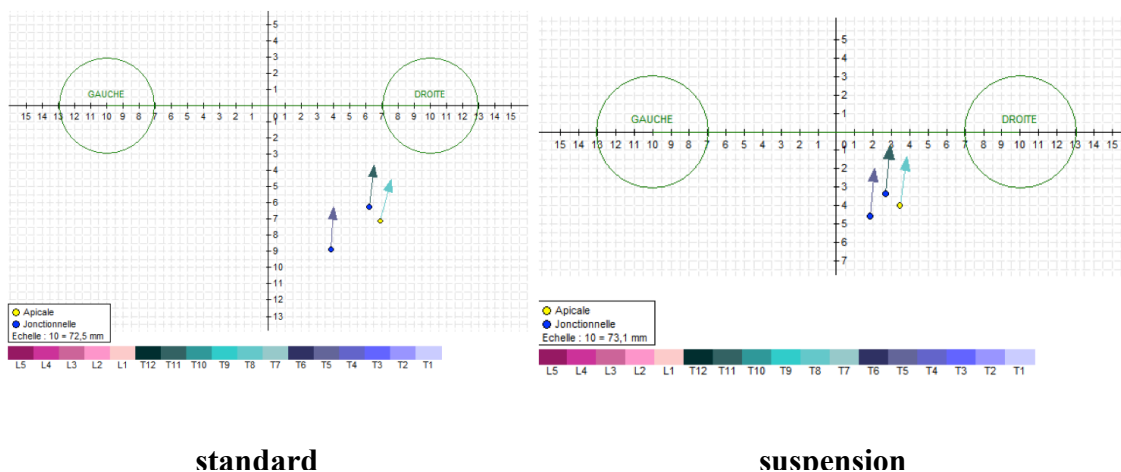


Figure 26 : La représentation vectorielle illustre bien la réduction de la rotation lors de la suspension

Le test de Pearson ne retrouvait aucune corrélation entre la réduction de la rotation et la réduction de l'angle de Cobb.

L'ensemble des résultats dans le plan axial est résumé dans le tableau 22.

	Standard EOS	Suspension EOS	Réduction de la rotation	Corrélation Cobb/Rotation
Rotation Apex 1	6.7° +/- 4.5	5.1° +/- 3.6	24%	<u>-0.2</u>
ITG	5.9° +/- 3.1	4.7° +/- 2.3	20.8%	
Rotation Apex 2	10.3° +/- 6.7	10.6° +/- 5.9	-2.8%	<u>-0.06</u>
ITG	8.5° +/- 3.7	8.1° +/- 3.5	3.9%	
Rotation Apex 3	10.6° +/- 8.4	7.4° +/- 6.0	29.9%	<u>0.21</u>
ITG	5.8° +/- 4.9	4.9° +/- 3.2	17.1%	

Apex 1 : apex courbure thoracique haute
 Apex 2 : apex courbure thoracique principale
 Apex 3 : apex courbure lombaire
 ITG : indice de torsion globale

Tableau 22 : Calcul de la corrélation entre la réduction de la rotation et la réduction de l'angle de Cobb

2. Analyse des données de la suspension dans le plan sagittal

L'analyse des paramètres sagittaux étaient faites sur le cliché EOS standard et sur le cliché EOS en suspension. Figure 27 et 28

Un indice de flexibilité était calculé pour l'ensemble des patients présentant une hypercyphose T1-T4 et T1-12 (tableau 23).

	<i>% patients</i>	<i>Debout</i>	<i>Suspension</i>	<i>Réductibilité</i>	<i>p</i>
T1-T12 > 40°	30	50.9° +/- 11.2	27.2° +/- 10.8	46.9% +/- 17.4	< 0.05
T1-T4 > 20°	10	21.0° +/- 2.7	10.5° +/- 5.2	50.0%	< 0.05

Tableau 23 : Calcul d'un indice de flexibilité dans le plan sagittal pour la cyphose T1-T4 et T1-T12

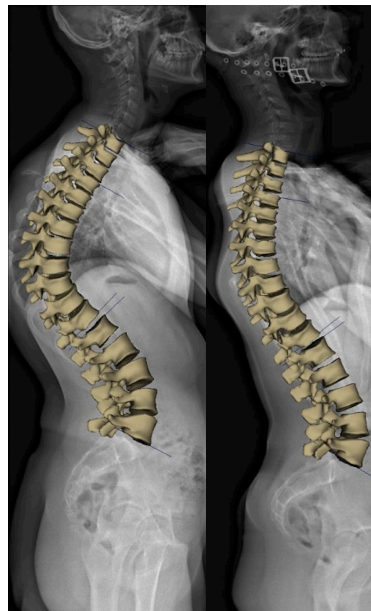


standard

suspension

Figure 27 : Patiente présentant une SIA Lenke 2 avec une cyphose T1-T4 à 20°

qui est réduite à 9° sur le cliché en suspension



standard

suspension

Figure 28 : Patient présentant une SIA type 3 de Lenke avec une hypercyphose

T5-T12 se réduisant sur le cliché en suspension.

V. DISCUSSION

La stéréoradiographie basse dose EOS est accessible en pratique clinique depuis quelques années. Le premier avantage de cette technique est une baisse significative des doses d'irradiation. Nous avons donc souhaité utiliser au maximum cette nouvelle technologie et remplacer tous les clichés standards de radiologie par des clichés EOS. Nous avons voulu dans un premier temps valider son utilisation pour la réalisation des clichés en inclinaison latérale. Le deuxième avantage est l'obtention de reconstructions fiables en 3D. Nous avons utilisé ces reconstructions pour l'analyse statique de la déformation en préopératoire et aussi en postopératoire. Les scolioses sont des déformations en 3D du tronc qui nécessitent une correction en 3D mais tous les raisonnements pour le choix des niveaux et des techniques opératoires sont basés uniquement sur l'analyse 2D de la flexibilité. Nous avons donc souhaité développer un test de flexibilité qui permette une analyse dans les 3 plans de l'espace.

Les clichés en inclinaison latérale dans l'EOS

Ce travail nous a permis de montrer pour la première fois que la stéréoradiographie basse dose EOS pouvait être utilisée pour la réalisation de clichés en inclinaison latérale. L'analyse comparative aux clichés en inclinaison latérale en position couchée n'a pas montré de différence significative pour la réductibilité de l'angle de Cobb des différentes courbures et pour la réductibilité

de l'angle ilio lombaire. L'analyse en sous groupes a révélé que les deux techniques étaient équivalentes pour les déformations avec une courbure principale $>$ ou $<$ à 55° et quelque soit le type de courbure selon la classification de Lenke.

Le cliché en inclinaison latérale dans l'EOS permet d'obtenir un cliché numérisé du rachis en entier ne séparant pas les niveaux proximaux et distaux. Ceci est tout particulièrement intéressant pour l'analyse des courbures thoracolombaires.

L'utilisation de la radiographie basse dose EOS permet une baisse de l'irradiation [37]. Nous avons remontré dans ce travail que la réalisation des clichés en inclinaison latérale dans l'EOS permettait de diminuer d'un facteur 5 l'irradiation reçue par les patients par rapport à la technique classique.

Dans tous les cas, les clichés étaient faisables et l'ensemble du rachis pouvait être visualisé à condition de bien placer l'enfant dans la cabine. La technique est plus simple et plus rapide puisqu'elle ne nécessite que deux radiographies et qu'une acquisition EOS dure moins de 10 secondes. Elle est aussi plus confortable pour l'enfant et pour le technicien de radiologie.

Néanmoins, la technique devra être revalidé pour les patients en surpoids et les adultes. En effet, la cabine EOS est petite et un adulte en surpoids pourrait être limité dans son inclinaison latérale du fait de la taille de la cabine. Par ailleurs, nous avons réalisé ce travail chez des patients jeunes et compliants, l'enfant doit rester immobile dans la cabine pour obtenir un cliché de bonne qualité.

L'inclinaison latérale en position debout pourrait être difficile à réaliser pour une personne âgée ou pour les patients avec des fonctions supérieures altérées.

L'autre point négatif de cette technique est l'impossibilité d'obtenir un cliché simultané de profil et donc des reconstructions en 3D. En effet, la taille et la forme de la cabine EOS imposent de décaler l'enfant dans la cabine par rapport à la croix centrale et la stéréoradiographie ne peut fonctionner que si le patient est centré par rapport aux deux détecteurs.

Il s'agit du premier travail qui valide l'utilisation de l'Eos pour la radiographie en inclinaison latérale.

La suspension EOS

Les clichés en inclinaison latérale sont utilisés pour le choix des niveaux de fusion mais il est indispensable de réaliser également un cliché en traction qui permet une vision globale de la déformation et de l'effet d'une force de traction sur les différentes courbures comme l'avait recommandé Glasman en 1992 [50]. Nous avons souhaité remplacer le cliché en traction sur cadre de Cotrel par un cliché en traction dans l'Eos. D'une part dans le but de diminuer la dose d'irradiation et d'autre part dans le but d'analyser la flexibilité en 3D. Il s'agit du premier travail qui évalue la flexibilité en 3D.

La radiographie en suspension existe depuis Stagnara et a été abandonnée par de nombreux chirurgiens du fait de son inconfort et de la possibilité de réaliser

d'autres tests, aussi efficace et plus tolérable. Néanmoins, l'application d'une force de traction dans la cabine EOS ne pouvait être réalisée qu'en suspension.

Faisabilité et tolérance du test

Dans tous les cas nous avons pu réaliser le test en suspension et il n'y a eu aucune complication. Ce travail révèle donc que la suspension dans l'Eos est faisable. Par ailleurs, la suspension était moins opérateur dépendant que la traction puisque l'écart-type obtenu pour la force moyenne appliquée lors des différents tests était plus faible pour la suspension. La force appliquée correspondait au poids du patient.

L'analyse de la tolérance révélait que les patients supportaient moins bien la suspension que la traction. En effet, la force que nous appliquions lors de la suspension était plus importante que lors de la traction.

Au cours de la suspension, la force de traction résulte du poids du corps du patient et elle est appliquée en totalité au niveau du rachis cervical. L'utilisation d'une traction axillaire comme elle a été décrite par Lamarre et al. [8] permettrait sans doute de diminuer l'inconfort mais cette technique risque d'altérer l'analyse des épaules et de la courbure thoracique haute. Il faudrait diviser la force de traction comme pour la traction Cotrel. Pour cela, on pourrait lester la planche sur laquelle les pieds sont fixés. Néanmoins, même si le test est relativement inconfortable, il reste très rapide puisque l'acquisition EOS dure moins de 10 secondes et que la durée totale en suspension, acquisition comprise,

est d'environ 20 secondes. La bonne préparation de l'acquisition est primordiale afin qu'il n'y ait aucun contre temps lorsque l'on démarre la suspension. Enfin, expliquer à l'enfant précisément les étapes et le but du test avant et le rassurer pendant reste l'élément fondamental au bon déroulement du test.

Analyse dans le plan frontal

L'analyse globale dans le plan frontal a montré que la suspension fournit des résultats similaires à la traction pour les courbures thoraciques principales et proximales quelque soit l'angle de la courbure principale. En revanche, les résultats étaient moins bons pour l'analyse du segment lombaire en comparaison à la traction et aux clichés en inclinaison latérale. L'analyse en sous-groupes a révélé que l'analyse du segment lombaire était moins bonne uniquement pour les déformations classées 5 et 6 selon Lenke, c'est-à-dire les déformations où la courbure principale est de siège lombaire ou thoraco-lombaire. De plus, l'analyse en fonction de l'importance du Cobb principal révélait qu'il n'y avait pas de différence entre la traction et la suspension quand le Cobb principal était supérieure à 55°.

Certains auteurs ont critiqué la trop grande efficacité de la traction pour les niveaux distaux. En effet, dans son étude, Vaughan et al. rapporte des cas de décompensations secondaire à type de « adding on » en raison du niveau distal de fusion choisi sur le cliché en traction chez des adolescents présentant une scoliose idiopathique et instrumentés avec le système Cotrel-Dubousset [17].

Les inclinaisons latérales constituent un meilleur examen pour le choix du niveau distal mais le cliché en traction ou en suspension permet une analyse globale de la déformation et de la réponse des différentes courbures à l'application de force en traction.

Analyse de la flexibilité en 3D

L'intérêt majeur de la suspension EOS était l'accès au plan sagittal et axial. Le logiciel SterEOS considère deux plans de références pour la mesure des différentes valeurs d'intérêt clinique : le plan patient et le plan radio ou plan cabine. Le plan patient permet de prendre en compte la rotation du bassin pour le calcul de la rotation apicale, il s'agit donc d'un calcul plus précis et proche de la réalité que les autres méthodes 2D. Dans le plan axial, nous avons constaté qu'il existait une différence pour la mesure de la rotation vertébrale dans plus de 50% des cas selon que le plan patient ou le plan cabine était pris comme référence. Ceci confirme donc l'intérêt de l'utilisation du plan patient comme plan de référence.

Dans le plan axial, nous avons pu calculer la réduction de la rotation de la vertèbre apicale pour chaque courbure. Il n'y avait aucune corrélation entre la réduction de l'angle de Cobb et la réduction de la rotation. Ceci semble montrer que l'analyse unique du Cobb n'est pas suffisante puisque sa réduction ne préjuge pas d'une correction de la rotation vertébrale. L'indice de flexibilité dans le plan axial est un nouveau critère d'analyse de la déformation qui pourrait

entrer en compte dans une nouvelle classification 3D qui prendrait en compte la réductibilité axiale pour déterminer la structuralité d'une courbure. De plus, il pourrait également devenir un des critères de choix de la technique chirurgicale la plus adaptée à la correction de la déformation. En effet, la correction de la déformation par derotation vertébrale directe pourrait s'avérer plus efficace dans les cas d'un faible indice de flexibilité dans le plan axiale. Cette hypothèse devra être confirmée par l'analyse de la corrélation entre le cliché en suspension dans l'EOS et le cliché post-opératoire.

Le test en suspension EOS nous a également permis d'accéder à l'analyse de la flexibilité dans le plan sagittal. Nous avons, en effet, pu calculer un indice de flexibilité de la cyphose T1-T4 et T1-T12. Les déformations type 2 de Lenke présentent une cyphose globale souvent normale mais qui se subdivise en une hypercyphose proximale et une hypocyphose distale [38]. Dans notre travail, nous avons pu calculer la réductibilité dans le plan sagittal de la courbure thoracique haute.

L'analyse de la flexibilité dans le plan sagittal constitue donc aussi une étape essentielle de la planification. L'indice de flexibilité que nous avons déterminé est nouveau, son analyse pourrait également constituer un nouveau critère pour la détermination de la structuralité d'une courbure ou l'inclusion de la courbure proximal dans la zone de fusion. L'analyse de la flexibilité d'une hypercyphose globale pourrait aussi aboutir à une modification de la stratégie thérapeutique. Une hypercyphose T1-T12 raide pourrait conduire à la réalisation d'ostéotomies

de Smith Peterson par exemple. De plus, une étude récente montre que l'importance de la cyphose globale préopératoire est corrélée au risque de cyphose jonctionnelle proximale, confirmant à nouveau l'intérêt de l'analyse préopératoire de la flexibilité sagittale [39]. L'analyse de la flexibilité sagittale pourrait également être utilisée en pédiatrie pour le bilan d'une maladie de Scheurmann ainsi que des autres cyphoses.

Une nouvelle classification 3D est en cours de préparation à la SRS, cette nouvelle technique d'analyse de la flexibilité pourra sans doute apporter de nouveaux critères à l'établissement d'une telle classification.

EOS et l'irradiation

L'étude des conséquences d'une exposition répétée aux radiations ionisantes secondaires à des examens d'imagerie médicale répétés a débuté il y a quelques années. Le problème est d'autant plus grave que les patients sont jeunes puisqu'ils sont suivis plus longtemps et donc plus exposés. Certaines études estiment que la probabilité de survenue d'une tumeur maligne est de 1/1000 scanners [40] [41]. Le risque est moins bien connu pour les radiographies simples mais le consensus général est de limiter le plus possible l'exposition aux radiations et de privilégier l'IRM ou l'échographie quand cela est possible [42] [43]. Les parents sont aujourd'hui mieux informés de ces risques et donc plus inquiets. Ils sont fréquemment demandeurs d'une information éclairée quant à la dose et au risque à long terme [44]. La technologie utilisée par EOS permet de

diminuer la dose d'irradiation reçue. Au cours de notre test en suspension et en inclinaison latérale, nous avons pu confirmer une diminution de la dose : elle était 8 fois moins importante avec EOS qu'avec des radiographies standards. Le personnel est également moins exposé que lors de radiographies classiques. L'utilisation de la radiographie basse dose constitue un avantage pour le patient et le personnel. Il semble indispensable de l'utiliser dès que cela est possible, surtout pour les enfants et d'éviter la réalisation de radiographies classiques.

Limites de l'étude

Notre travail comporte néanmoins certaines limites. Concernant le choix de nos patients, nous n'avons évalué notre technique que sur des adolescents, compliants, non en surpoids. Il faudra de revalider la technique chez les adultes et les personnes âgées pour qui la suspension et même les inclinaisons latérales risquent d'être difficiles à supporter. Ensuite, l'ordre de réalisation des clichés n'a pas été randomisé, ce qui constitue un biais. Toutes les radiographies ont été réalisées par le même investigateur qui a développé la technique. Une formation sera donc sans doute indispensable pour généraliser l'application de ces nouveaux tests. De plus, c'est le même investigateur qui a réalisé l'ensemble des reconstructions et des mesures des différentes valeurs.

Ce travail compare la suspension à la traction mais ne donne pas d'indication sur la capacité du test à prédire la correction postopératoire. Une étude de la corrélation avec l'EOS postopératoire est indispensable pour affiner les résultats

de ce travail. Par ailleurs, la technique de réalisation des bendings dans l'EOS empêche l'acquisition simultanée d'un cliché de face et de profil et donc de faire une reconstruction 3D.

VI. CONCLUSION

Ce travail révèle l'intérêt de l'EOS pour la planification préopératoire des scolioses idiopathiques de l'adolescent. Les clichés en inclinaison latérale sont faisables dans l'EOS et fournissent les mêmes résultats que les clichés classiques en position couchés. Ils devraient être utilisés en pratique courante dès que cela est possible du fait de la baisse d'irradiation. Le test en suspension dans l'EOS est faisable. Il apporte des informations similaires à la radiographie en traction sauf pour les courbures Lenke 5 et 6 où l'analyse du segment lombaire est moins bonne. Il permet une analyse tridimensionnelle de la déformation et de sa flexibilité. Les résultats fournis par ce test pourront constituer les bases d'une nouvelle classification des scolioses idiopathiques de l'adolescent.

VII. REFERENCES

1. Ilharreborde B, Even J, Lefevre Y, Fitoussi F, Presedo A, Souchet P, Penneçot G-F, Mazda K (2008) How to determine the upper level of instrumentation in Lenke types 1 and 2 adolescent idiopathic scoliosis: a prospective study of 132 patients. *J Pediatr Orthop* 28:733–739
2. Wang Y, Bünger CE, Zhang Y, Wu C, Li H, Hansen ES (2013) Distal adding-on in Lenke 1A scoliosis: how to more effectively determine the onset of distal adding-on. *Spine* 38:490–495
3. Kim YJ, Lenke LG, Bridwell KH, Kim J, Cho SK, Cheh G, Yoon J (2007) Proximal junctional kyphosis in adolescent idiopathic scoliosis after 3 different types of posterior segmental spinal instrumentation and fusions: incidence and risk factor analysis of 410 cases. *Spine* 32:2731–2738
4. Kim HJ, Lenke LG, Shaffrey CI, Van Alstyne EM, Skelly AC (2012) Proximal junctional kyphosis as a distinct form of adjacent segment pathology after spinal deformity surgery: a systematic review. *Spine* 37:S144–164
5. Matsumoto M, Watanabe K, Hosogane N, et al (2012) Title: Postoperative Distal Adding-on and Related Factors in Lenke Type 1A Curve. *Spine*. doi: 10.1097/BRS.0b013e318279b666
6. Wang Y, Hansen ES, Høy K, Wu C, Bünger CE (2011) Distal adding-on phenomenon in Lenke 1A scoliosis: risk factor identification and treatment strategy comparison. *Spine* 36:1113–1122

7. Lenke LG, Betz RR, Harms J, Bridwell KH, Clements DH, Lowe TG, Blanke K (2001) Adolescent idiopathic scoliosis: a new classification to determine extent of spinal arthrodesis. *J Bone Joint Surg Am* 83-A:1169–1181
8. Lamarre M-E, Parent S, Labelle H, Aubin C-E, Joncas J, Cabral A, Petit Y (2009) Assessment of spinal flexibility in adolescent idiopathic scoliosis: suspension versus side-bending radiography. *Spine* 34:591–597
9. Davis BJ, Gadgil A, Trivedi J, Ahmed E-NB (2004) Traction radiography performed under general anesthetic: a new technique for assessing idiopathic scoliosis curves. *Spine* 29:2466–2470
10. Klepps SJ, Lenke LG, Bridwell KH, Bassett GS, Whorton J (2001) Prospective comparison of flexibility radiographs in adolescent idiopathic scoliosis. *Spine* 26:E74–79
11. Cheh G, Lenke LG, Lehman RA Jr, Kim YJ, Nunley R, Bridwell KH (2007) The reliability of preoperative supine radiographs to predict the amount of curve flexibility in adolescent idiopathic scoliosis. *Spine* 32:2668–2672
12. Lenke LG, Edwards CC 2nd, Bridwell KH (2003) The Lenke classification of adolescent idiopathic scoliosis: how it organizes curve patterns as a template to perform selective fusions of the spine. *Spine* 28:S199–207
13. Polly DW Jr, Sturm PF (1998) Traction versus supine side bending. Which technique best determines curve flexibility? *Spine* 23:804–808
14. Kleinman RG, Csongradi JJ, Rinsky LA, Bleck EE (1982) The radiographic assessment of spinal flexibility in scoliosis: a study of the efficacy

of the prone push film. Clin Orthop 47–53

15. Vedantam R, Lenke LG, Bridwell KH, Linville DL (2000) Comparison of push-prone and lateral-bending radiographs for predicting postoperative coronal alignment in thoracolumbar and lumbar scoliotic curves. Spine 25:76–81
16. Hamzaoglu A, Talu U, Tezer M, Mirzanli C, Domanic U, Goksan SB (2005) Assessment of curve flexibility in adolescent idiopathic scoliosis. Spine 30:1637–1642
17. Vaughan JJ, Winter RB, Lonstein JE (1996) Comparison of the use of supine bending and traction radiographs in the selection of the fusion area in adolescent idiopathic scoliosis. Spine 21:2469–2473
18. Takahashi S, Passuti N, Delécrin J (1997) Interpretation and utility of traction radiography in scoliosis surgery. Analysis of patients treated with Cotrel-Dubousset instrumentation. Spine 22:2542–2546
19. Davis BJ, Gadgil A, Trivedi J, Ahmed E-NB (2004) Traction radiography performed under general anesthetic: a new technique for assessing idiopathic scoliosis curves. Spine 29:2466–2470
20. Cheung KM, Luk KD (1997) Prediction of correction of scoliosis with use of the fulcrum bending radiograph. J Bone Joint Surg Am 79:1144–1150
21. Cheung KMC, Natarajan D, Samartzis D, Wong Y-W, Cheung W-Y, Luk KDK (2010) Predictability of the fulcrum bending radiograph in scoliosis correction with alternate-level pedicle screw fixation. J Bone Joint Surg Am 92:169–176

22. Winter RB, Lonstein JE, Denis F (2007) How much correction is enough?
Spine 32:2641–2643
23. Labelle H, Aubin C-E, Jackson R, Lenke L, Newton P, Parent S (2011)
Seeing the spine in 3D: how will it change what we do? J Pediatr Orthop
31:S37–45
24. Hong J-Y, Suh S-W, Easwar TR, Modi HN, Yang J-H, Park J-H (2011)
Evaluation of the three-dimensional deformities in scoliosis surgery with
computed tomography: efficacy and relationship with clinical outcomes. Spine
36:E1259–1265
25. Ilharreborde B, Sebag G, Skalli W, Mazda K (2013) Adolescent
idiopathic scoliosis treated with posteromedial translation: radiologic evaluation
with a 3D low-dose system. Eur Spine J Off Publ Eur Spine Soc Eur Spinal
Deform Soc Eur Sect Cerv Spine Res Soc. doi: 10.1007/s00586-013-2776-7
26. Dumas R, Mitton D, Laporte S, Dubousset J, Steib JP, Lavaste F, Skalli
W (2003) Explicit calibration method and specific device designed for
stereoradiography. J Biomech 36:827–834
27. Dubousset J, Charpak G, Skalli W, Kalifa G, Lazenec J-Y (2007) [EOS
stereo-radiography system: whole-body simultaneous anteroposterior and lateral
radiographs with very low radiation dose]. Rev Chir Orthopédique Réparatrice
Appar Mot 93:141–143
28. Dubousset J, Charpak G, Dorion I, Skalli W, Lavaste F, Deguise J, Kalifa
G, Ferey S (2005) [A new 2D and 3D imaging approach to musculoskeletal

- physiology and pathology with low-dose radiation and the standing position: the EOS system]. *Bull Académie Natl Médecine* 189:287–297; discussion 297–300
29. Charpak G (1996) [Prospects for the use in medicine of new detectors of ionizing radiation]. *Bull Académie Natl Médecine* 180:161–168; discussion 168–169
30. Deschênes S, Charron G, Beaudoin G, Labelle H, Dubois J, Miron M-C, Parent S (2010) Diagnostic imaging of spinal deformities: reducing patients radiation dose with a new slot-scanning X-ray imager. *Spine* 35:989–994
31. Illés T, Somoskeőy S (2013) Comparison of scoliosis measurements based on three-dimensional vertebra vectors and conventional two-dimensional measurements: advantages in evaluation of prognosis and surgical results. *Eur Spine J Off Publ Eur Spine Soc Eur Spinal Deform Soc Eur Sect Cerv Spine Res Soc* 22:1255–1263
32. Somoskeőy S, Tunyogi-Csapó M, Bogyó C, Illés T (2012) Accuracy and reliability of coronal and sagittal spinal curvature data based on patient-specific three-dimensional models created by the EOS 2D/3D imaging system. *Spine J Off J North Am Spine Soc* 22:1052–1059
33. Glaser DA, Doan J, Newton PO (2012) Comparison of 3-dimensional spinal reconstruction accuracy: biplanar radiographs with EOS versus computed tomography. *Spine* 37:1391–1397
34. Faro FD, Marks MC, Pawelek J, Newton PO (2004) Evaluation of a functional position for lateral radiograph acquisition in adolescent idiopathic

scoliosis. *Spine* 29:2284–2289

35. Vidal C, Ilharreborde B, Azoulay R, Sebag G, Mazda K (2013) Reliability of cervical lordosis and global sagittal spinal balance measurements in adolescent idiopathic scoliosis. *Eur Spine J Off Publ Eur Spine Soc Eur Spinal Deform Soc Eur Sect Cerv Spine Res Soc* 22:1362–1367

36. White AA 3rd, Panjabi MM (1976) The clinical biomechanics of scoliosis. *Clin Orthop* 100–112

37. Dietrich TJ, Pfirrmann CWA, Schwab A, Pankalla K, Buck FM (2013) Comparison of radiation dose, workflow, patient comfort and financial break-even of standard digital radiography and a novel biplanar low-dose X-ray system for upright full-length lower limb and whole spine radiography. *Skeletal Radiol.* doi: 10.1007/s00256-013-1600-0

38. Charles YP, Bouchaïb J, Walter A, Schuller S, Sauleau EA, Steib J-P (2012) Sagittal balance correction of idiopathic scoliosis using the in situ contouring technique. *Eur Spine J Off Publ Eur Spine Soc Eur Spinal Deform Soc Eur Sect Cerv Spine Res Soc* 21:1950–1956

39. Kim YJ, Bridwell KH, Lenke LG, Kim J, Cho SK (2005) Proximal junctional kyphosis in adolescent idiopathic scoliosis following segmental posterior spinal instrumentation and fusion: minimum 5-year follow-up. *Spine* 30:2045–2050

40. Rice HE, Frush DP, Farmer D, Waldhausen JH, APSA Education Committee (2007) Review of radiation risks from computed tomography:

essentials for the pediatric surgeon. *J Pediatr Surg* 42:603–607

41. Brenner D, Elliston C, Hall E, Berdon W (2001) Estimated risks of radiation-induced fatal cancer from pediatric CT. *AJR Am J Roentgenol* 176:289–296

42. Arthurs OJ, Bjørkum AA (2013) Safety in pediatric imaging: an update. *Acta Radiol Stockh Swed* 1987. doi: 10.1177/0284185113477399

43. Semelka RC, Armao DM, Elias J Jr, Huda W (2007) Imaging strategies to reduce the risk of radiation in CT studies, including selective substitution with MRI. *J Magn Reson Imaging JMRI* 25:900–909

44. Boutis K, Cogollo W, Fischer J, Freedman SB, Ben David G, Thomas KE (2013) Parental Knowledge of Potential Cancer Risks From Exposure to Computed Tomography. *Pediatrics*. doi: 10.1542/peds.2013-0378

50. Glassman SD. Hook pattern selection in the treatment of spinal deformities. *Spine : State of Arts Reviews*. 1992 ;6 :331-46